



UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO

Facultad de Ingeniería

Escuela de Industrias

**Desarrollo prototipo de UAV para operaciones SAR y gestión de desastres**

Tesis para optar al grado “Licenciado en Ciencias de la Ingeniería”

y título “Ingeniero en Automatización y Robótica”.

Autor:

Juan Francisco Cornejo Santis

Profesor Guía:

Alex Yau

Santiago de Chile, 2018.



UNIVERSIDAD ANDRES BELLO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INDUSTRIAS

INGENIERÍA EN AUTOMATIZACIÓN Y ROBÓTICA

#### DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD Y PROPIEDAD

Yo, **Juan Francisco Cornejo Santis**, declaro que este documento no incorpora material de otros autores sin identificar debidamente la fuente.

Santiago, noviembre de 2018

X

---

Juan Francisco Cornejo Santis

## **1 AGRADECIMIENTOS**

A toda la gente que me ayudó a llevar a cabo este proyecto, cada uno de los que se tomó un poco de tiempo ya sea para escucharme o preguntarme cómo iba.

Gracias a toda la gente que siempre confió y creyó en mí para lograr mis metas y objetivos, en especial a mi familia que siempre se mantuvo ahí.

## INDICE GENERAL

1	AGRADECIMIENTOS .....	3
	INDICE GENERAL.....	4
	INDICE DE IMAGENES.....	8
2	RESUMEN .....	10
3	ABSTRACT .....	12
4	INTRODUCCIÓN .....	13
4.1	SAR .....	15
4.2	Teoría de vuelo.....	16
4.3	UAV .....	18
4.4	Objetivos generales .....	19
4.5	Objetivos específicos .....	19
5	ESTADO DEL ARTE .....	20
5.1	CTOL .....	20
5.1.1	Aeroplano:.....	20
5.1.1.1	<i>Ala Alta</i> .....	20
5.1.1.3	<i>Ala Baja</i> .....	23
5.1.2	Glider.....	24
5.1.2.1	<i>Catapultado</i> .....	24
5.1.2.2	<i>Lanzado</i> .....	25
5.2	VTOL .....	26
5.2.1	<b>Titl Rotor</b> .....	26
5.2.2	Rotary Wing .....	27
5.2.3	Multi Rotor.....	27
5.3	Motorización .....	28
5.3.1	Explosión.....	28
5.3.2	Reacción .....	29
5.3.3	Eléctrico .....	30
5.3.4	Propulsión .....	31
5.3.4.1	<i>Propeller</i> .....	31
5.3.4.2	<i>Pulse-jet</i> .....	32
5.3.4.3	<i>Turbine</i> .....	33

5.3.4.4	Fan.....	34
5.3.5	Fuentes de energía .....	35
5.3.5.1	Electricidad.....	35
5.3.5.2	Gasolina.....	35
5.3.5.3	Nitro.....	35
6	AVIÓNICA .....	36
6.1	Controladores de vuelo.....	36
6.1.1	CC3D .....	36
NAZE32	.....	38
6.1.2	APM .....	39
6.1.3	Pixhawk.....	40
6.2	Telemetría.....	41
6.2.1	BMS .....	41
6.2.2	Nivel .....	42
6.3	Velocidad.....	42
6.3.1	AIR SPEED .....	42
6.3.2	GROUND SPEED .....	44
6.4	Navegación.....	44
6.4.1	Actitud .....	44
6.4.2	Vario Altimetro.....	45
6.4.3	Compás Magnético .....	47
6.5	Posicionamiento. ....	48
1.	Zona Prohibida (P).....	48
2.	Zona restringida (R).....	48
6.5.1	GPS.....	49
6.5.2	GLONASS.....	50
7	CONTROL.....	51
7.1	Radio .....	51
7.2	Yoke.....	52
7.3	H.O.T.A.S .....	53
7.4	HEAD TRACKER.....	54
7.5	Data Link.....	55

7.5.1	CAN.....	56
7.5.2	S.Bus.....	57
7.5.3	PWM .....	58
7.5.4	PPM .....	59
8	RANGO .....	60
8.1	HALE (High Altitude Long Endurance) .....	60
8.2	MALE (Middle Altitude Long Endurance) .....	60
8.3	TUAV (Mid Ranger Or Tactical UAV).....	60
8.4	CLOSE-RANGE UAV .....	60
8.5	MUAV or Mini UAV .....	60
8.6	Micro UAV or MAV.....	60
8.7	NAV Nano UAV .....	61
8.8	RHP Remotely Piloted Helicopter or VTUAV Vertical Take-off UAV....	61
8.9	UCAV y UCAR .....	61
9	APLICACIONES.....	62
9.1	Internet.....	62
9.2	Fotogrametría .....	63
	Monitoreo de instalaciones .....	63
9.3	Transporte .....	63
	Agricultura .....	64
9.4	Cine y deportes extremos .....	65
9.5	Servicios forestales.....	65
	Búsqueda y rescate .....	66
9.6	Meteorología.....	66
	Seguridad y control fronterizo .....	66
9.7	Auditoría de siniestros .....	67
10	DISCUSIÓN .....	68
11	DESARROLLO DE PROYECTO.....	74
11.1	Factores y requerimientos .....	74
11.1.1	REQUERIMIENTOS .....	75
11.1.2	Reconocimiento de personas.....	76
11.1.3	Desarrollo del software .....	77

11.1.4	Control y recepción de imagen .....	84
11.2	Diseño de prototipo .....	90
11.2.1	Materialidad .....	90
11.2.2	Diseño del modelo .....	94
11.2.3	Motorización.....	101
12	CONCLUSIONES .....	104
13	BIBLIOGRAFÍA .....	105
14	ANEXOS .....	107
14.1.1	Análisis de RPA en el mercado con orientación similar al proyecto 107	
14.1.2	Codigos OpenCV .....	111

## INDICE DE IMAGENES

Ilustración 1 insignia grupo SAR .....	15
Ilustración 2 esquema componentes de un ala .....	16
Ilustración 3 composición del ala .....	16
Ilustración 4 flujos en un ala .....	17
Ilustración 5 Globo de bombardeo .....	18
Ilustración 6 cessna 182 .....	21
Ilustración 7 beaufighter mk IV .....	22
Ilustración 8 Spitfire mk IX .....	23
Ilustración 9 Scan Eagle catapultado .....	24
Ilustración 10 UAV lanzado a mano .....	25
Ilustración 11 osprey v22 .....	26
Ilustración 12 grúa aérea Sikorsky .....	27
Ilustración 13 DJI inspire .....	27
Ilustración 14 Configuraciones motor a explosión .....	28
Ilustración 15 Turbina .....	29
Ilustración 16 Motor eléctrico extra-3001 .....	30
Ilustración 17 Hélice (propela) de madera .....	31
Ilustración 18 esquema funcionamiento pulse-jet .....	32
Ilustración 19 modelo turbina .....	33
Ilustración 20 diagrama Fan .....	34
Ilustración 21 CC3D .....	37
Ilustración 22 Naze 32 .....	38
Ilustración 23 APM .....	39
Ilustración 24 Pixhawk cube .....	40
Ilustración 25 BMS para autopiloto .....	41
Ilustración 26 tubo de Pitot .....	43
Ilustración 27 Horizonte artificial .....	45
Ilustración 28 Vario altímetro .....	46
Ilustración 29 Compas magnetico .....	47
Ilustración 30 Insignia navstar GPS .....	49
Ilustración 31 Insignia GLONAS .....	50
Ilustración 32 Radio spektrum dx18 .....	51
Ilustración 33 Yoke sistem .....	52
Ilustración 34 Sistema H.O.T.A.S .....	53
Ilustración 35 Head tracker fatshark .....	54
Ilustración 36 I2c maestro esclavo .....	55
Ilustración 37 Trama Can .....	56
Ilustración 38 Futaba S.Bus .....	57
Ilustración 39 Señal PWM .....	58
Ilustración 40 Grafico señal PPM .....	59
Ilustración 41 Aquila Titan Aerospace .....	62



Ilustración 42 Volken Jung .....	64
Ilustración 43 oinseon multi rotor .....	66
Ilustración 44 UAV tipo MotoGlider .....	69
Ilustración 45 Referencias Drone lab .....	70
Ilustración 46 DJI Inspire .....	71
Ilustración 47 menu configuracion raspberry pi.....	77
Ilustración 48 Sub-menu configuraciones avanzadas.....	78
Ilustración 49 python cargando modulo cv2.....	81
Ilustración 50 imagen normal .....	81
Ilustración 51 Imagen procesada con haar cascade.....	81
Ilustración 52 grafico comparación de radios.....	86
Ilustración 53 Scherer UHF tx700lite .....	87
<i>Ilustración 54 dispersión de señal de antena omnidireccional</i> .....	88
Ilustración 55 diagrama de conexión de controladora de vuelo .....	89
Ilustración 56 Fibra de vidrio tela 650 .....	90
Ilustración 57 Fibra de vidrio tipo mat 300 .....	90
Ilustración 58 resina de poliéster .....	91
Ilustración 59 resina epoxica.....	91
Ilustración 60 plancha laurelia terciada .....	92
Ilustración 61 moldes alas .....	92
Ilustración 62 cortador de nicrom.....	93
Ilustración 63 Partes avión.....	94
Ilustración 64 carga alar.....	96
Ilustración 65 carga alar final .....	96
Ilustración 66 Avion doble cola OV-10 Bronco.....	97
Ilustración 67 boceto1 .....	98
Ilustración 68 diseño con modificación de empenaje .....	98
Ilustración 69 renderizado de modelo .....	99
Ilustración 70 simulacion presion en alas .....	100
Ilustración 71 simulacion de fluidos en al.....	100
Ilustración 72turnigy rotomax 150cc .....	101
Ilustración 73 DLE 170.....	103
Ilustración 74 P51 .....	110

## 2 RESUMEN

*Los vehículos aéreos no tripulados alguna vez fueron materia de rumores y leyendas, identificados en la Prensa como nuevos y misterioso. "Nuevas formas en el cielo", declararon los titulares de una vez en el pasado reciente. Ahora parecen ser un lugar común, al menos en el campo de batalla, donde se los ve llevando a cabo misiones de vigilancia y desplegar armas con gran precisión. Ahora son realmente la solución a algunos de los aburridos, sucios y tareas peligrosas para las cuales fueron propuestas por primera vez.*

(seabridge, 2010)

En el mundo actual el uso de aeronaves no tripuladas o “unmanned aerial vehicle” (UAV) para labores no militares se ha popularizado principalmente en el área de entretenimiento y agricultura, pero hay tareas que se presentan aun con aeronaves convencionales o iniciativas privadas poco especializadas adaptando aeronaves de uso recreativo para rudimentarias tareas de búsqueda y rescate y/o gestión de desastres, es por esto por lo que **este proyecto presenta una investigación y desarrollo de un UAV capaz de sopesar estas labores de manera íntegra,**

En el siguiente documento se analizará las características y componentes de los UAV, considerando las diferentes aeronaves que se aplican a estos sistemas, los sistemas involucrados convencionales en la adquisición de datos en sistemas aéreos para la aeronavegabilidad y como estos son aplicados a las aeronaves pilotadas a distancia, esto con el fin de analizar ciertas problemáticas que se presentan en los distintos sistemas de búsqueda, rescate, vigilancia y auditoría de siniestros en la actualidad.

También analizaremos la electrónica y sistemas de control detrás de las aeronaves pilotadas a distancia, el funcionamiento de los equipos de abordaje para la evaluación de un sistema de control por simulación sintética de vuelo.

Teniendo en cuenta las aplicaciones de estos sistemas es que analizaremos las desventajas que poseen en la actualidad en diversas aplicaciones, para luego identificar los puntos débiles a mejorar para el desarrollo de un sistema no tripulado que sea eficaz en las tareas de SAR (Servicio Aéreo de Rescate) auditoría de desastres y vigilancia pensado en un país geográficamente cambiante como lo es Chile.

“Los prototipos y pruebas realizadas en esta investigación no conllevan a prototipos comerciales o producción de estos.”

### 3 ABSTRACT

Unmanned aerial vehicles were once the subject of rumors and legends, identified in the Press as new and mysterious. "New forms in the sky", declared the holders once in the recent past. Now they seem to be commonplace, at least on the battlefield, where they are seen conducting surveillance missions and deploying weapons with great precision. Now they are really the solution to some of the boring, dirty and dangerous tasks for which they were proposed for the first time.

(seabridge, 2010)

In the actual world, use of unmanned aerial vehicles or "vehículo aéreo no tripulado" (UAV) for non-military tasks has been popularized mainly in the area of entertainment and agriculture, but there are tasks that are presented even with conventional aircraft or private initiatives not very specialized adapting aircraft for recreational use for rudimentary tasks of search and rescue and / or disaster management, this is why this project presents a research and development of a UAV capable of weighing these tasks in an integral way,

The following document will analyze the characteristics and components of the UAV, considering the different aircraft that are applied to these systems, the conventional systems involved in the acquisition of data in air systems for airworthiness and how they are applied to piloted aircraft. distance, this in order to analyze certain problems that are presented in the different systems of search, rescue, surveillance and audit of claims at present

We will also analyze the electronics and control systems behind remotely piloted aircraft, the operation of the on-board equipment for the evaluation of a control system by synthetic flight simulation.

Taking into account the applications of these systems is that we will analyze the disadvantages they currently have in various applications, to then identify the weak points to improve for the development of an unmanned system that is effective in the tasks of SAR (Air Service of Rescate) disaster audit and monitoring thought of in a geographically changing country such as Chile.

The prototypes and tests carried out in this investigation do not involve commercial prototypes or production of these."

## 4 INTRODUCCIÓN

Desde tiempos inmemoriales el hombre ha tratado y soñado de alcanzar las alturas del cielo como las aves, tenemos innumerables mitos como los son el del griego Ícaro quien trato de escapar de la isla de Minos con un gran par de alas, el sueño de volar se remonta a la antigüedad con el propósito de abarcar mayores distancias que las abarcadas desde las grandes atalayas.

Años de investigación por muchas personas ansiosas de conseguir esta proeza obtuvieron los resultados vistos en la actualidad, hoy gracias a estos investigadores es que podemos abarcar grandes distancias, ya sea para el transporte comercial, turístico, militar o preventivo.

El ser humano está en constante perfección de sus creaciones y esta área no es la excepción, habiendo visto las pérdidas de pilotos y tripulantes es que se vio en la necesidad de la creación de aeronaves no tripuladas pero que cumpliesen las mismas funciones o mejoradas sobre todo en el aérea de búsqueda, rescate y gestión de desastres naturales.

En el siguiente proyecto se analizarán las características de las aeronaves según su configuración alar, así como sus diversos componentes de los UAV según su desempeño, también veremos diversos diseños de aeronaves no tripuladas y sus aplicaciones en las diversas áreas que estas abarcan, considerando las diferentes aeronaves que se aplican a estos sistemas.

Analizaremos los sistemas involucrados convencionales en la adquisición de datos en sistemas para la navegación aérea y como estos son aplicados a las aeronaves pilotadas a distancia, esto con el fin de analizar ciertas problemáticas que se presentan en los distintos sistemas de búsqueda, rescate, vigilancia y auditoría de siniestros en la actualidad.

También analizaremos la electrónica y sistemas de control detrás de las aeronaves pilotadas a distancia, el funcionamiento de los equipos de abordo para la evaluación de un sistema de control por simulación sintética de vuelo.

Teniendo en cuenta las aplicaciones de estos sistemas es que analizaremos las ventajas y desventajas que poseen en la actualidad en diversas áreas, poniendo especial énfasis en las labores de búsqueda y rescate aéreo.

Así identificar diversas características de diseño, funcionamiento y control para el desarrollo de un sistema no tripulado que sea viable, eficiente y eficaz en las tareas de SAR (Servicio Aéreo de Rescate), auditoría de desastres y vigilancia pensado en un país de altas contradicciones geográficas como lo es Chile.

#### 4.1 SAR

El concepto SAR (***Search and Rescue***) nace en la segunda guerra mundial con la necesidad de rescatar a los pilotos derribados en el mar, o heridos tras líneas enemigas, por lo cual se preparaba a grupos de soldados para esta misión, actualmente esto se denomina CSAR (***CombatSearch and Rescue***)

En 1944 la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) en el convenio de Chicago da a conocer la necesidad de contar con servicios especializados de búsqueda y rescate, Chile siendo uno de los participantes firman este acuerdo y lo ratifica en 1947, en Chile se designa a la FACH (Fuerza aérea de Chile) como la más adecuada para estas labores, y es así como desde 1950 nace el servicio de búsqueda y salvamento aéreo (SAR)

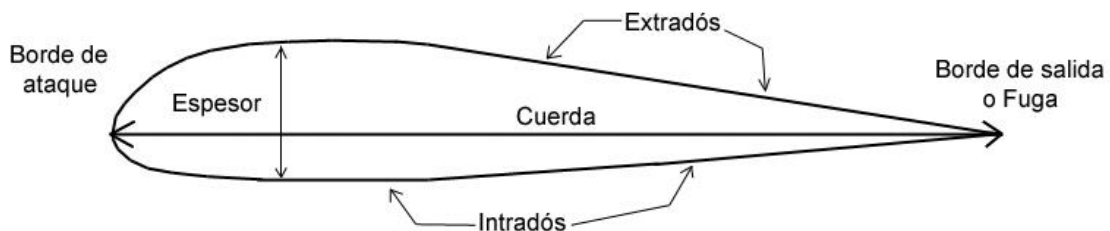


Ilustración 1 insignia grupo SAR

## 4.2 Teoría de vuelo

Un avión vuela básicamente por moverse a través de un fluido y con esto genera la sustentación necesaria a esto más la tracción de una hélice o empuje de un reactor genera que la suma de las fuerzas sea mayor que la ejercida por la gravedad, un aeroplano puede poseer diferentes superficies sustentadoras, pero la principal son las alas, aunque existen también aeronaves que poseen un fuselaje sustentador que reemplaza la extensión total de las alas.

Si analizamos las principales estructuras de sustentación las “alas” podemos observar que se cómo se diferencian las partes de esta en su perfil



*Ilustración 2 esquema componentes de un ala*

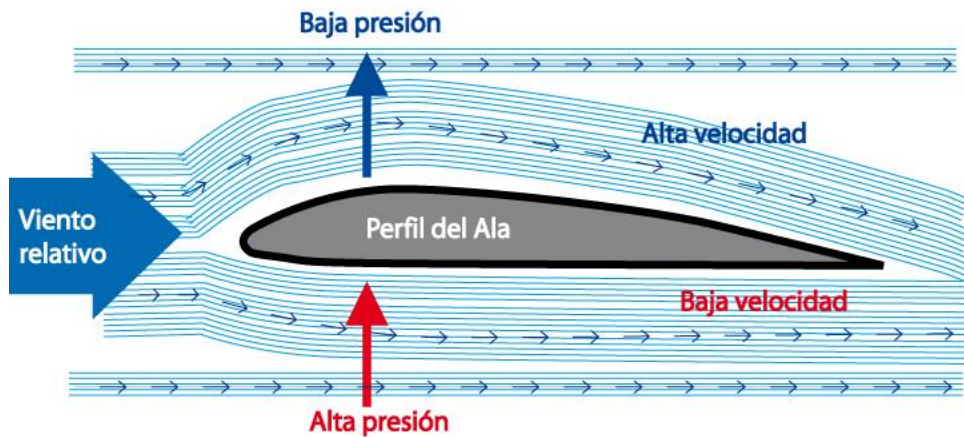
*Ilustración 3 composición del ala*

- Extradós: Es la parte superior del perfil tiende a ser mas curvada
- Intradós: la parte inferior del ala y con menos curvatura
- Borde de ataque: sección delantera del perfil donde primero impactan las partículas
- Borde de fuga: es la parte posterior del perfil donde convergen el intradós y el extradós
- Cuerda: línea imaginaria que se forma al unir el borde de ataque y el borde de fuga

Como se observa el extradós posee más curvatura que el intradós por lo tanto la distancia recorrida por las partículas es mayor, por lo tanto, la velocidad de las



partículas que recorren el extradós es mayor que las del intradós, esto bajo el teorema de Bernoulli donde:



*Ilustración 4 flujos en un ala*

al aumentar la velocidad del flujo de partículas de aire su presión disminuye y viceversa, mayor velocidad = menor presión, por lo tanto, en el extradós el flujo de aire al ser mayor genera una zona de baja presión lo que genera succión en el ala que la tira hacia arriba, mientras que en el intradós el flujo es menor y genera una zona de alta presión generando un empuje hacia arriba en el ala, estas dos fuerzas en conjunto son las responsables de que los aviones vuelen

### 4.3 UAV

Los UAV o Drone (del polaco “zángano” o del inglés “zumbido”), es una clasificación dada a todas aquellas aeronaves que no lleven piloto a bordo, los UAV son operados por varios grados de autonomía, ya sea por control remoto a través de un operario en tierra o completamente autónomo por controlador a bordo.

El primer registro de uso de drones (UAS) puede remontarse al 22 de agosto de 1849, en el uso de globos de bombardeo controlados por fusibles temporizados en el asedio a Venecia.

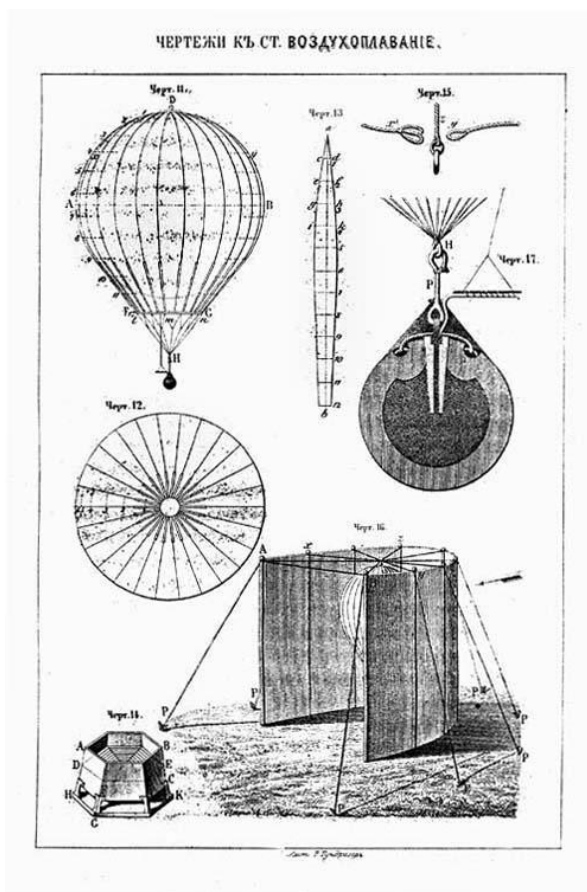


Ilustración 5 Globo de bombardeo

#### 4.4 Objetivos generales

- El objetivo de este documento es generar el diseño y/o desarrollo de un prototipo de UAV con capacidades orientadas a operaciones SAR

#### 4.5 Objetivos específicos

- Desarrollar un sistema que ayude a la detección de personas a través de la captura de video
- Proponer un sistema de control fiable para operación de vuelo fuera del rango de vista
- Identificar los factores externos necesarios para el diseño y desarrollo del prototipo

## 5 ESTADO DEL ARTE

Un vehículo aéreo no tripulado (VANT), UAV (Unmanned Aerial Vehicle), RPA (Remoted Pilot Aircraft) o común mente conocidos como *DRON* (Proveniente de la palabra polaca zángano o zumbido), es una aeronave que vuela sin tripulación y es capaz de mantener de manera autónoma o semiautónoma un nivel de vuelo controlado y sostenido, comúnmente propulsadas por motores a explosión, ya sean eléctricos o de reacción.

El diseño de los UAV cuenta con una amplia variedad de formas, tamaños configuraciones y características. Históricamente surgen como aviones pilotados mediante controles remotos clasificados en dos grandes categorías basados en su despegue.

### 5.1 CTOL

CTOL (Conventional Take-Off and Landing “despegue y aterrizaje convencional”) es el proceso por el cual una aeronave despegue y aterriza de manera similar a un avión de pasajeros.

#### 5.1.1 Aeroplano:

Según la definición de la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) es un “Aerodino propulsado por motor, que debe su sustentación en vuelo principalmente a reacciones aerodinámicas ejercidas sobre superficies que permanecen fijas en determinadas condiciones de vuelo”, estas se pueden clasificar por su configuración alar en:

##### 5.1.1.1 Ala Alta:

Corresponde a la Aeronave con las semi-alas fijadas en la parte superior del fuselaje.

Ventajas:

- Facilidad y rapidez de carga y descarga, lo que la hace una nave ideal para el transporte.
- Menor interferencia para monoplanos con alas arriostradas debido a las barras de sujeción a tracción.
- Trenes de aterrizaje cortos.
- Efecto suelo en aviones STOL.

Desventajas:

- Alojamiento del tren de aterrizaje en el fuselaje lo que aumenta su peso.
- Poca fuerza de tracción en el tren de aterrizaje.



*Ilustración 6 cessna 182*

### 5.1.1.2 Ala Media

Aeronave con las semi-alas fijas en la parte media del fuselaje.

Ventajas:

- Posee resistencia mínima debido a la poca interferencia de capas límites.
- Se minimiza la divergencia del flujo en la raíz del ala.
- Nave ideal para cargueros y entrenadores.
- sirve de suelo en los aviones de transporte grandes.

Desventajas:

- posee variación considerable de la posición del CDG.



*Ilustración 7 beaufighter mkIV*

#### 5.1.1.3 Ala Baja

Aeronave que posee las semi-alas fijas a la parte baja del fuselaje.

Ventajas:

- Ideal para cargueros pequeños que esperan en aeropuertos secundarios y en campo de vuelo donde no se requiere de equipos de carga especial.
- Otorga un aprovechamiento más eficiente del fuselaje por debajo del suelo.
- Permite una mayor deflexión de la cola horizontal y una rotación óptima durante el despegue.

Desventaja:

- Otorga poca estabilidad de vuelo.



*Ilustración 8 Spitfire mk IX*

### 5.1.2 Glider

Conocidos comúnmente como velero o planeador es un aerodino, una aeronave más pesada que el aire, de notable superficie alar, con respecto de UAV principalmente son utilizados los motores planeadores, estos los podemos clasificar en:

#### 5.1.2.1 Catapultado:

Método de despegue que comprende el lanzamiento desde una catapulta o lanzadera de forma neumática o eléctrica, la cual proporciona un despegue rápido y en poco espacio.



*Ilustración 9 Scan Eagle catapultado*



#### 5.1.2.2 Lanzado:

Método de despegue que comprende el lanzamiento a mano de la aeronave, para esto se requiere de bajo peso y envergadura reducida de la nave.



*Ilustración 10 UAV lanzado a mano*

## 5.2 VTOL

Sigla proveniente del inglés Vertical Take-Off and Landing, que hace referencia a la capacidad de ciertas aeronaves de despegar y aterrizar de manera vertical, dividida en tres categorías.

### 5.2.1 **Titl Rotor**

Un convertiplano o motor de rotores basculares, es principalmente una aeronave de ala fija tradicional y propulsión por hélice cuyo eje de rotación es orientable, lo que lo convierte en un híbrido entre helicóptero y avión.



*Ilustración 11 osprey v22*

### 5.2.2 Rotary Wing

Una aeronave de alas giratorias es un aerodino (una aeronave más pesada que el aire) en la cual las fuerzas de sustentación se logran mediante alas o palas que forman parte del rotor alrededor de un eje fijo.



*Ilustración 12 grúa aérea Sikorsky*

### 5.2.3 Multi Rotor

Un multimotor o multicóptero, es un helicóptero con más de dos rotores, los multicópteros modernos utilizan generalmente alas de paso fijo, el ángulo del rotor no varía cuando las palas giran. El control del vehículo se consigue mediante la variación de la velocidad relativa en cada motor.



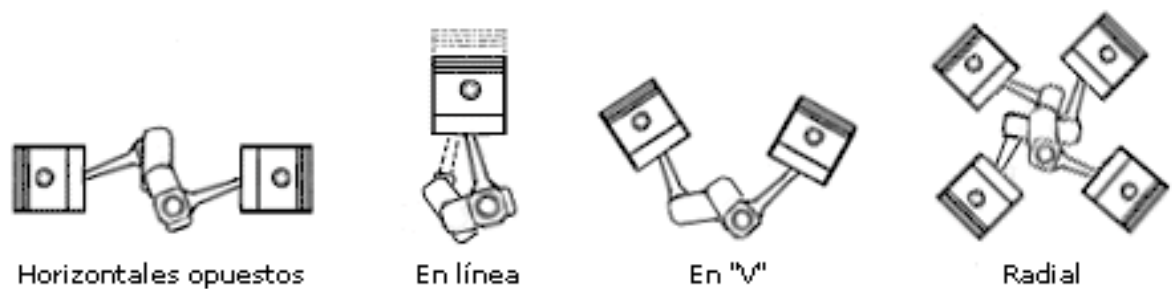
*Ilustración 13 DJI inspire*

### 5.3 Motorización

Comprende el espectro de plantas motrices utilizadas en aeronáutica, ya sea a explosión, reacción o eléctricas, las cuáles definiremos de la siguiente forma.

#### 5.3.1 Explosión

En aeronáutica y modelismo son utilizados cuatro tipos de motores a explosión, los cuales son:



*Ilustración 14 Configuraciones motor a explosión*

Un motor de explosión es un tipo de motor a combustión interna, que utiliza la explosión de un combustible, provocada mediante una chispa, para expandir un gas y empujando así un pistón. Hay motores de dos y de cuatro tiempos.

### 5.3.2 Reacción

Un motor de reacción, reactor o jet es un tipo de motor que descarga un chorro de fluidos a gran velocidad para así generar empuje.

Los motores a reacción usados en aeronáutica se dividen en tres grupos, basados en un mismo principio y diferenciados por su aplicación, estos son:

- I) Turborreactor: Término genérico para motor de turbina sencilla.
- II) Turbo fan: La primera etapa del compresor muy aumentada para proporcionar un flujo de aire derivado alrededor del núcleo del motor.
- III) Turbo hélice: Estrictamente no es un reactor completo, es una turbina de gas, es utilizada como planta motriz para mover una hélice o eje en el caso de un helicóptero.
- IV) Pulso reactor: El aire es comprimido y quemado de forma intermitente en un lugar de modo continuo.

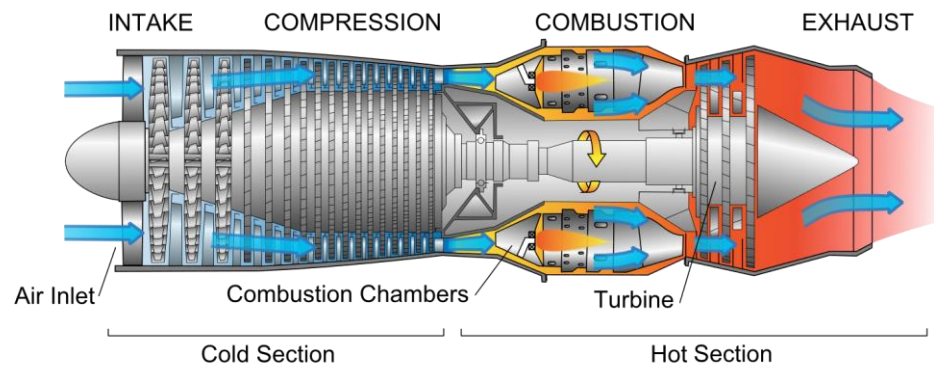


Ilustración 15 Turbina

### 5.3.3 Eléctrico

El motor eléctrico es un dispositivo que convierte la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas. Son máquinas eléctricas rotatorias compuestas por un estator y un rotor.

En aeromodelismo son muy utilizados los motores Brushless, son motores trifásicos alternos sin escobillas, los cuales poseen una alta eficiencia y poca pérdida por roce, de esta misma forma es que se han visto intenciones de utilizar esta tecnología en aeronáutica con motores como el construido por Siemens para un extra-3001.



*Ilustración 16 Motor eléctrico extra-3001*

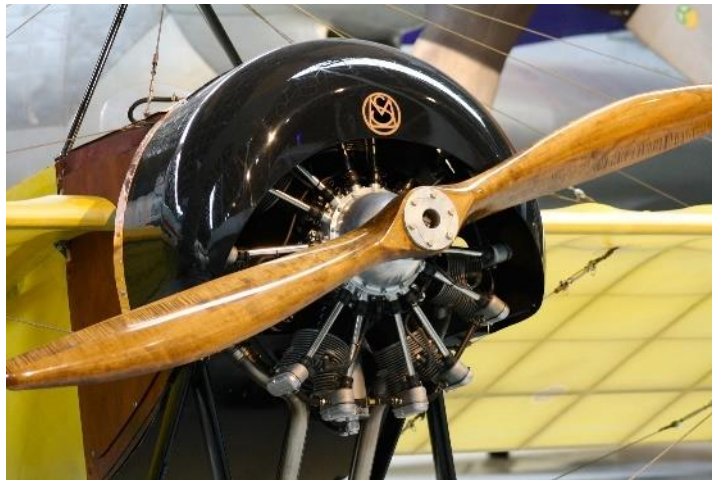
#### 5.3.4 Propulsión

Definiremos como propulsión, el método por el cual la aeronave genera fuerza de empuje suficiente para lograr moverse, y obtener sustentación. Las principales formas de propulsión están estrechamente relacionadas con el tipo de planta motriz utilizada, por lo cual lo podemos dividir en:

##### 5.3.4.1 Propeller

Convierte el movimiento rotatorio del motor u otra fuente mecánica para proveer propulsión, las hélices pueden ser de paso fijo o variable según sea su utilización.

La hélice de un dispositivo constituido por un número variable de aspas o palas (2,3,4...) que al girar alrededor de un eje producen una fuerza propulsora. Cada pala está formada por un conjunto de perfiles aerodinámicos que van cambiando progresivamente su ángulo de incidencia desde la raíz hasta el extremo (mayor en la raíz, menor en el extremo).

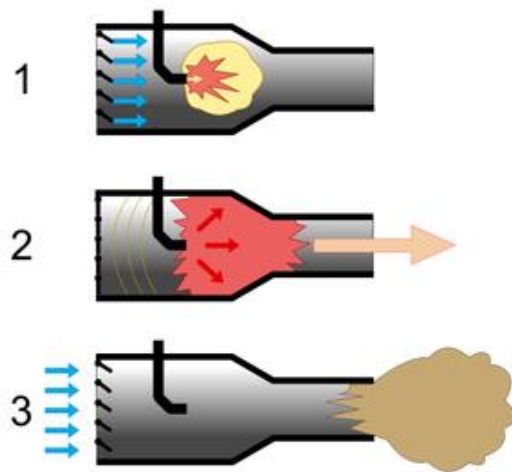


*Ilustración 17 Hélice (propela) de madera*

#### 5.3.4.2 *Pulse-jet*

O turbina por pulsos, es uno de los primeros métodos de propulsión a reacción, la base de su funcionamiento es la quema de combustibles en intervalos regulares generando una expulsión de gases a alta velocidad capaz de generar propulsión.

Un pulso reactor es un tipo de reactor nacido en Alemania, fue el primer reactor fabricado para fines bélicos, se implementó por primera vez como planta motriz en la bomba V.



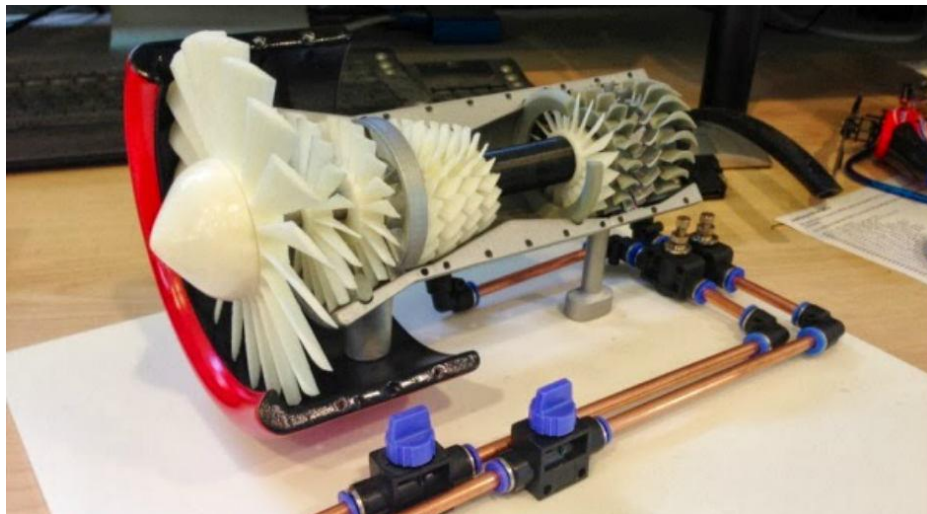
*Ilustración 18 esquema funcionamiento pulse-jet*



#### 5.3.4.3 Turbine:

El turbo reactor, es el tipo más antiguo de motores de reacción de uso general. El concepto fue desarrollado en motores prácticos a finales de los años 30'.

Una turbina o turborreactor, es la forma más sencilla de reactores, ya que genera propulsión a través de la succión y compresión de grandes volúmenes de aire mezclados con gas (combustibles vaporizado) generando una salida de aire que puede ser controlada a través de deflectores y puede ser subsónica o supersónica.



*Ilustración 19 modelo turbina*

#### 5.3.4.4 Fan

Los motores de aviación tipo Turbo Fan, son la generación de motores de reacción que han reemplazado a los turborreactores, también suelen llamarse turborreactores de doble flujo, los cuales se caracterizan por disponer de un ventilador (fan) en la parte frontal del motor, estos tienen como ventaja el consumir menos combustible y generara menor ruido ambiental.

Fan o Ventilador, es un tipo de turbina supe compresora, que puede ser eléctrica o a combustión, muy utilizada en aeronaves comerciales.

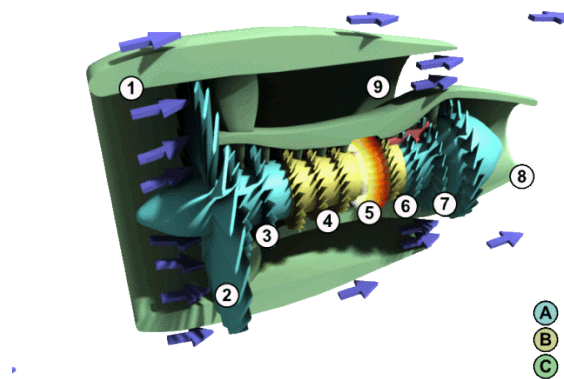


Ilustración 20 diagrama Fan

### 5.3.5 Fuentes de energía

Las fuentes de energía se centrarán en las utilizadas en aeromodelismo, tanto en los diversos tipos de combustibles utilizados por los motores como las alternativas de baterías eléctricas y su combustión.

#### 5.3.5.1 Electricidad

Las fuentes de energía eléctrica comúnmente usadas son fabricadas con litio, siendo la más utilizada la batería de celdas de polímero de litio, no obstante, las nuevas generaciones de baterías de alto amperaje como LIFEP04 comienzan a verse en sistemas *Long-range*.

#### 5.3.5.2 Gasolina

Los motores bencineros, de 2 o 4 tiempos son bastante usados en cilindradas sobre los 50cc, por su gran poder y configuraciones adaptables a diversos fuselajes, siendo los más utilizados los de motores de pistón simple y los de motores radiales en alta cilindrada.

#### 5.3.5.3 Nitro

Son los motores más utilizados, principalmente de 2 tiempos, utilizan como combustible Nitro -metano mezclado con aceite para una mejor lubricación de las piezas mecánicas ya que al ser de dos tiempos, la cilindrada máxima de este tipo de motores suele ser de 20cc por pistón encontrándose comúnmente en configuración de pistón simple.

## 6 AVIÓNICA

Hace referencia a la aplicación de la electrónica y sistemas de automatización en todo ámbito aeronáutico, teniendo entre estos, los sistemas utilizados en aeronaves, satélites y naves espaciales, entre estos principalmente están los sistemas de comunicación, navegación instrumental y manejo.

### 6.1 Controladores de vuelo

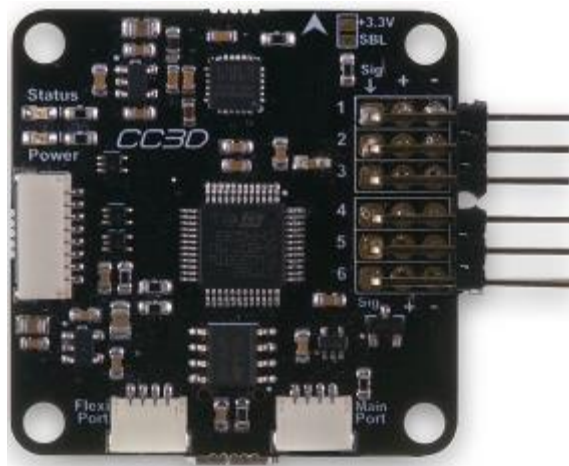
Entenderemos por controlador de vuelo, el equipo principal de un UAV, el cual es el encargado de comandar los sistemas inerciales, recepción de datos, ejecución de datos y control de sistemas anexos, entre los más usados para uso civil podemos encontrar:

#### 6.1.1 CC3D

Es una placa controladora de vuelo *open source* basada en STM32 la cuál es una de las placas controladoras más básicas del mercado la cual cuenta con un Giroscopio y Acelerómetro únicamente.

- *Giroscopio de 3 ejes: IDG-500 and ISZ-500 (1)*
- *Acelerometro de 3 ejes ADXL345(1)*
- *Soporta las mayoría de entradas communes en RC: 6 PWM channels , combined PPM, Spektrum/JR DSM2, DSMJ, DSMX satellites, and futabaS.Bus receivers.*

- *Simultaneous support for multiple receivers.*
- *Receivers Port Functions (configurable): 6 PWM input channels or combined PPM stream, 4 PWM output channels.*
- *Main Port functions (configurable): serial telemetry(default), GPS, S.Bus, Spektrum/JR satellites.*
- *FlexiPort (configurable): serial telemetry, GPS Spektrum/JR satellites, or 12C peripherals (under development).*
- *10 PWM outputs to servos or ESCs, or for camera stabilization and manual control from any of configured receiver*



*Ilustración 21 CC3D*

## NAZE32

NAZE32 es una de las placas más utilizadas en las versiones deportivas, ya que cuenta con un nivel de configuración mayor al de las CC3D, teniendo variantes más especializadas con controladores más rápidos como lo son la *Afroflight*.

USB on right side

- PPM/PWM input as through-hole
- Flexible motor outputs support various airframe types: Quad/hexa/Tri/Bi/Y4/Y6/Octo/Camera Gimbal. (Default is Quad-X)
- Up to 8 ch RC input- supports standard receivers (PWM), PPM Sum receivers (FrSky, etc.), or Spektrum satellite receivers.
- Built in FrSky telemetry inverter.
- Battery voltage monitoring.
- Modern 32-bit processor running at 3.3V/72MHz (STM32F103-CB).
- 3.3V, 12C on standard-size headers.
- SBUS Inverter built in.
- Spektrum satellite.

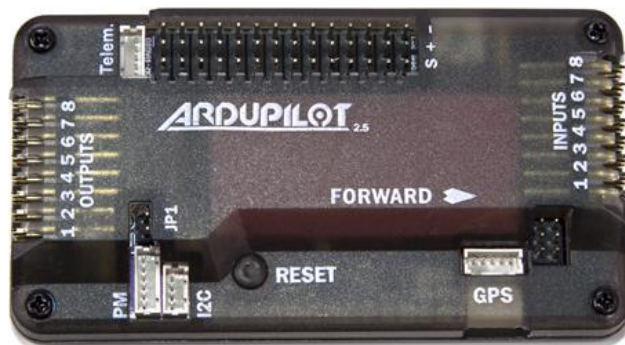


Ilustración 22 Naze 32

### 6.1.2 APM

APM es una controladora de vuelo basada en Arduino Mega, creada y pensada en la adquisición de datos en dispositivos aéreos, cuenta con dos variantes en software las cuales son: “Arduplane” y “Arducopter”, esta placa cuenta con IMU, admisión de GPS y barómetro.

- Arduino compatible
- Includes 3-axis gyro, accelerometer, along with a high-performance barometer.
- Onboard 4 Mega Byte Dataflash chip for automatic datalogging.
- Optional off-board GPS, uBlox LEA-6H module with Compass.
- One Of the first open source autopilot systems to use invensense s 6 DoF Accelerometer/Gyro MPU-6000.
- Barometric pressure sensor upgraded to MSS611 01BA03, from Measurement Specialites.
- Atmel ATMEGA 2560 and ATMEGA32U-2 chips for processing and usb functions respectively.
- \*MPU6500
- \*Sonar pads W/resistors added for direct convention to 5V sonar.
- \*BMP280 barometer vers.



*Ilustración 23 APM*

### 6.1.3 Pixhawk

Pixhawk es la evolución del antes mencionado APM dejando de lado las prestaciones de Arduino y apuntando a un sector más profesional con la integración de microcontroladores STM32f427 y un procesador STM32f103 de respaldo para fallas.

- Pix168 MHz/252 MIPS Cortex-M4F
- 14 PWM/ Servo outputs (8 with failsafe and manual override, 6 auxiliary, high- power compatible).
- Abundant connectivity options for additional peripherals (UART, 12C, CAN).
- Integrated backup system for in-flight recovery and manual override with dedicated processor and stand-alone power supply (fixed – wing use).
- Backup system integrates mixing, providing consistent autopilot and manual override mixing modes (fixed – wing use).
- Redundant power supply inputs and automatic failover.
- External safety switch.
- Multicolor LED main visual indicator.
- High-power, multi-tone piezo audio indicator.



Ilustración 24 Pixhawk cube



## 6.2 Telemetría

Cuando se maneja una aeronave a distancia uno de los factores cruciales en cualquier operación de vuelo, es mantener un estatus de esta, su equipamiento, niveles de batería óptimos, recepción de imagen entre otros datos, a continuación, expondremos los puntos de mayor importancia en la plana operativa y de aeronavegabilidad para RPA.

### 6.2.1 BMS

BMS (*Battery Management System*) es un Sistema electrónico encargado de la gestión de una batería recargable, a través de este podemos obtener datos de voltaje y corriente pudiendo estimar la duración de esta.

This is a small voltage and current sense PCB. DC current is determined by measuring a voltage drop across a pair of parallel 1mOhm shunt resistors, then converted to a final analog voltage output by the TI INA-169. Voltage sense is accomplished by scaling to 3.3V ADC range by a precision resistor divider.

- 51.8V Max.
- 89.4A Max.
- Very low zero current offset.
- Analog output scaled for 3.3V ADC.
- self-Powered.
- 



Ilustración 25 BMS para autopiloto

### 6.2.2 Nivel

Dada la gran cantidad de vibración generada por las aeronaves de pequeño tamaño y lo inflamable del nitro-metano, el uso de sensores de nivel absolutos no es usado, por lo que existe la implementación de sensores de nivel por flotación que miden el nivel de combustible existente en el estanque, pero estos no informan un estado continuo de consumo, para así calcular el tiempo estimado de vuelo.

## 6.3 Velocidad

Hablando de sistemas aéreos podemos distinguir diferentes tipos de velocidades, como la velocidad stall, que es la velocidad mínima de vuelo (VS), o la velocidad de pérdida (VSD) las cuales se diferencian de la velocidad en tierra.

### 6.3.1 AIR SPEED

Las velocidades características o velocidades V son las que definen algunos comportamientos y limitaciones de una aeronave. Estas velocidades son establecidas por el fabricante durante el diseño y prueba, suelen ser específicas para cada modelo de aeronave.

Usualmente las velocidades características son relativas al aire en que la aeronave se desplaza y son por lo tanto velocidad del viento (airspeed).

La velocidad con la que se desplaza una aeronave en el aire es medida a través de un instrumento llamado *tubo de pitot*, el cuál mide principalmente el diferencial de presión estática (dentro del avión) y dinámica (presión generada en el exterior por las corrientes de aire).



*Ilustración 26 tubo de Pitot*

### 6.3.2 GROUND SPEED

La velocidad terrestre de una aeronave está determinada por la siguiente formula.

$$V_{pg} = V_{pa} + V_{ag}$$

Las cuales representan  $V_{pg}$  Velocidad terrestre,  $V_{pa}$  Velocidad respecto del aire y  $V_{ag}$  Velocidad del viento, por lo que la velocidad del aeroplano de la tierra es igual a la velocidad del aeroplano respecto del aire, más la velocidad del aire respecto de la tierra (Nave, S.F.)

## 6.4 Navegación

La navegación en una aeronave está relacionada con un conjunto de instrumentos y técnicas con las cuales podemos orientarnos de nuestra posición en el aire respecto a la tierra y así poder fijar una trayectoria a través de *waypoints* en una aerovía.

### 6.4.1 Actitud

El indicador de actitud u Horizonte artificial es el instrumento que muestra la orientación de una aeronave respecto al horizonte, con este podemos observar los ángulos de alabeo (Roll) y los de cabeceo (Pitch).

Los sistemas de referencia de actitud y rumbo son sensores tridimensionales que proporcionan información acerca del rumbo, la altitud, y la guiñada de una aeronave. Este tipo de sistemas están específicamente diseñados para reemplazar a los antiguos instrumentos de control giroscópicos, y proporcionar una mejor precisión y fiabilidad.



*Ilustración 27 Horizonte artificial*

#### 6.4.2 Vario Altimetro

El vario altímetro es un instrumento que nos permite saber de la velocidad de ascenso o descenso de la aeronave, es este mismo el que permite nivelar la aeronave en vuelo.

Este instrumento consiste en una caja hermética, salvo un pequeño orificio calibrado en fábrica que la conecta al sistema de estática. Dentro de esta caja hay una membrana o diafragma acoplado a unas varillas y engranajes que amplifican su movimiento y lo transmiten a la aguja indicadora. Este diafragma recibe también la presión atmosférica desde el sistema de estática.

Cuando el aeroplano está en el suelo o en vuelo nivelado, la presión dentro de la membrana y la existente en la caja son iguales y la aguja debe marcar cero

si el instrumento está bien calibrado. Pero cuando el avión asciende o desciende, la membrana acusa inmediatamente el cambio de presión (altura) mientras que en la caja este cambio se produce gradualmente debido a la toma por el orificio calibrado.



*Ilustración 28 Vario altímetro*

### 6.4.3 Compás Magnético

La brújula también llamada compás magnético, es un instrumento que, al orientarse con las líneas de fuerza del campo magnético de la tierra, proporciona al piloto una dirección permanente del rumbo respecto al norte magnético terrestre. Este instrumento es la referencia básica para mantener la dirección del vuelo.

Puesto que la brújula opera en base a principios magnéticos, primero unos principios básicos sobre esta fuerza.

El magnetismo es la fuerza de atracción o repulsión que se produce en algunas sustancias, especialmente aquellas que contienen hierro y otros metales como níquel y cobalto, fuerza que es debida al movimiento de cargas eléctricas.



*Ilustración 29 Compas magnetico*

## 6.5 Posicionamiento.

Comúnmente al volar una aeronave privada, utilizamos una carta aeronáutica de la zona en la cual volaremos, ésta en conjunto con el instrumental del avión nos ayuda a saber nuestra posición respecto a la tierra, además nos ayuda a identificar las zonas prohibidas, restringidas y peligrosas según son establecidas en la norma aeronáutica, los sistemas más avanzados utilizan sistemas de GPS (Global Positioning System) o similar facilitando la lectura de posición de la aeronave

1. **Zona Prohibida (P):** Es el espacio aéreo de dimensiones definidas sobre el territorio nacional, dentro del cual está prohibido el vuelo de aeronaves ya sea por razones de seguridad nacional o de carácter militar. (DAN 91).
2. **Zona restringida (R):** Corresponde al espacio aéreo de dimensiones definidas sobre el territorio nacional, dentro del cual está restringido el vuelo de las aeronaves, de acuerdo con determinadas condiciones específicas. (DAN 91).



### 6.5.1 GPS

GPS es el sistema de posicionamiento más utilizado y conocido, este fue diseñado e implementado por la armada y fuerza aérea de los Estados Unidos.

- Satélites en la constelación: 24 (4x6 órbitas).
- Altitud: 20 200 km.
- Período: 11 h 58 min (12 horas sidéreas).
- Inclinação: 55 grados (respecto al ecuador terrestre)
- Vida útil: 7,5 años.
- Señal: RF.
- Frecuencia portadora: Civil- 1575,60 MHz (L1) Utiliza el código de adquisición aproximativa (C/A).
- Militar- 1227,60 MHz (L2). Utiliza el código de precisión (P), cifrado.
- Nivel de potencia de la señal: -160 dBW (en superficie tierra).
- Polarización: Circular dextrógiaca.
- Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS84).



*Ilustración 30 Insignia navstar GPS*

### 6.5.2 GLONASS

GLONASS (Global naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) es un servicio de posicionamiento global desarrollado por la unión soviética y actualmente administrado por la federación rusa, se encuentra operativo desde 1996, posee un canal de exactitud normalizada el cual es utilizado para apoyar las necesidades de la OACI.

Consta de una constelación de 31 satélites (24 en activo, 3 satélites de repuesto, 2 en mantenimiento, uno en servicio y otro en pruebas) situados en tres planos orbitales con 8 satélites cada uno y siguiendo una órbita de  $64,8^\circ$  con un radio de 25.510 km.

Cada satélite consta de:

- 2 paneles solares.
- 12 antenas de banda L.
- 1 reloj atómico de cesio.
- Matriz de retro-reflectores.



*Ilustración 31 Insignia GLONAS*

## 7 CONTROL

### 7.1 Radio

Siendo un mando tradicional de 2sticks es uno de los sistemas más utilizados, debido a su simpleza de manejo y la cercanía que los pilotos de UAV de uso civil tienen a este.

- # of Channels: 18
- Modulation: DSM2°/DSMX.
- Band: 2.4GHz.
- Receiver: AR9020.
- Programming Features: Airplane, Helicopter, and Sailplane.
- Model memory: 250.
- Modes: Selectable 1,2,3, or 4.
- Transmitter (Tx) Battery Type: 2600mAh Lipo.
- Changer: Intl Domestic Air Transmitter AC Adapter Experience.
- Level: Advanced.



*Ilustración 32 Radio spektrum dx18*

## 7.2 Yoke

Un “YokeSystems” o Sistema de yugo es un sistema de joystick similar al utilizado por las aeronaves civiles y comerciales el cual comprende un yugo para los controles del timón de profundidad y alerones, además de stick’s para motores o paso de hélice, estos sistemas más realistas pueden ser equipados con pedales para el timón de la aeronave.



*Ilustración 33 Yoke sistem*

### 7.3 H.O.T.A.S

Un Sistema H.O.T.A.S del inglés “Hand On the Throttle And the Stick” o en español manos en el acelerador y la palanca es un tipo de joystick que se asemeja, al utilizado en las aeronaves de combate o acrobáticas donde los mandos de la aeronave pueden ser manipulados solo con una (1) mano, a este sistema al igual que el anterior se le pueden agregar pedales para el control del timón de dirección.



*Ilustración 34 Sistema H.O.T.A.S*

## 7.4 HEAD TRACKER

El Sistema de “Head Tracker” o de seguimiento de cabeza, es un sistema el cual sigue los movimientos de la cabeza del piloto para posicionar en la misma orientación cámaras o dispositivos, es similar al utilizado militarmente en helicópteros como el AH-64 “Apache Longbow” el cual se denomina “guntohelmet trackingsystem” con este el piloto apunta el arma principal del helicóptero con el movimiento de su cabeza.



*Ilustración 35 Head tracker fatshark*

### 7.5 Data Link.

El PC está diseñado como un bus maestro-esclavo. La transferencia de datos es siempre inicializada por un maestro; el esclavo reacciona.

El inicio de una transmisión es indicado por la señal de inicio del maestro, seguido de la dirección. Esta es confirmada por el ACK-Bit del esclavo correspondiente. En función del R/W-Bit se escriben bytes de datos (datos al esclavo) o se leen (datos al maestro). El ACK es enviado desde el esclavo al escribir, y desde el maestro al leer. El último byte “leído” es reconocido por el maestro como un NACK (notacknowledg) para indicar el final de una transmisión. Una transmisión es finalizada por la señal de parada.

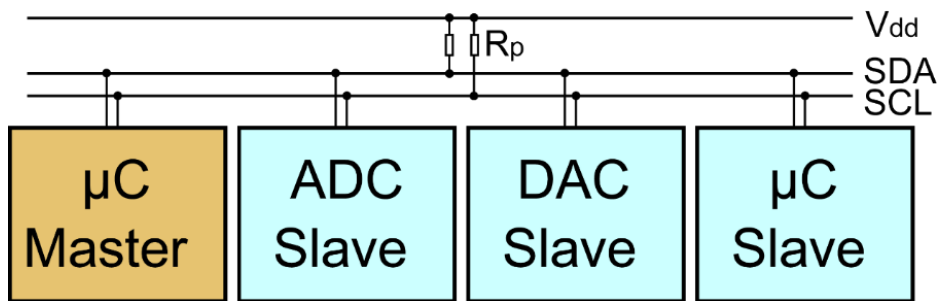


Ilustración 36 I2c maestro esclavo

### 7.5.1 CAN

se basa en el modelo productor/consumidor, el cual es un concepto, o un paradigma de comunicaciones de datos, que describen una relación entre un productor y uno o más consumidores. CAN es un protocolo orientado a mensajes, es decir la información que se va a intercambiar se descompone en mensajes, a los cuales se les asigna un identificador y se encapsulan en tramas para su transmisión. Cada mensaje tiene un identificador único dentro de la red, con el cual los nodos deciden aceptar o no dicho mensaje. Dentro de sus principales características se encuentran:

- Prioridad de mensajes.
- Garantía de tiempos de latencia.
- Flexibilidad en la configuración.
- Recepción por multidifusión (multicast) con sincronización de tiempos.
- Sistema robusto en cuanto a consistencia de datos.

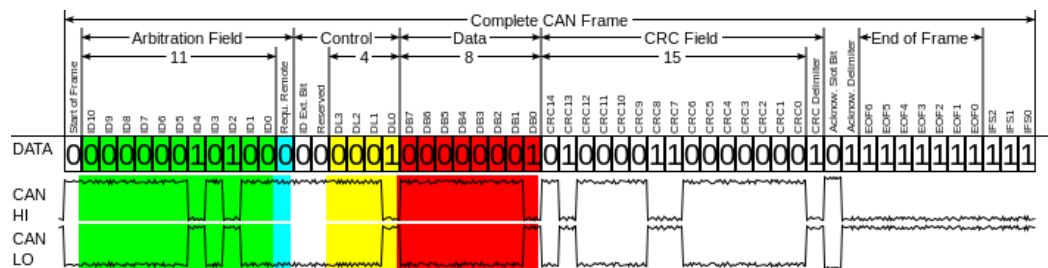
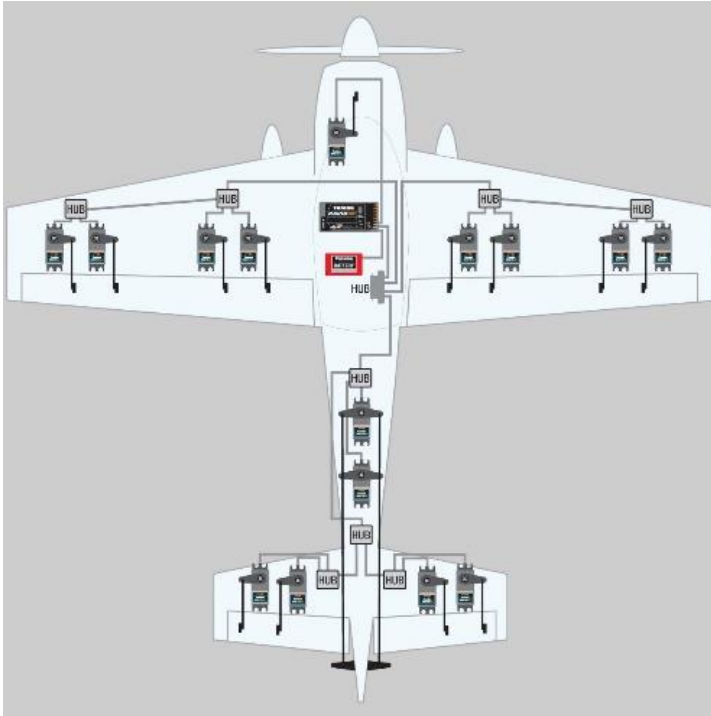


Ilustración 37 Trama Can



### 7.5.2 S.Bus

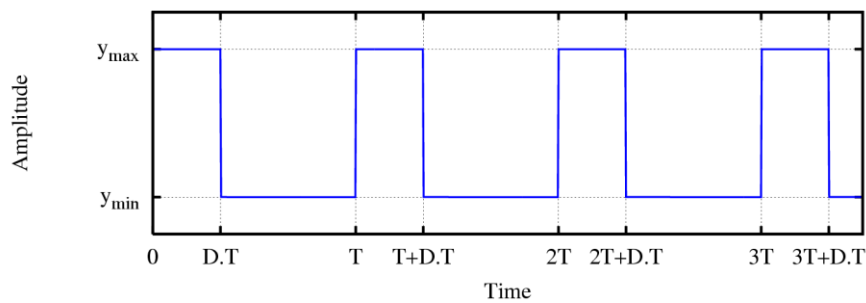
S.bus es un protocolo de comunicación serial usado por las marcas de radiocontrol Futaba y FrSky que permite manejar hasta 18 canales usando un mismo canal de datos.



*Ilustración 38 Futaba S.Bus*

### 7.5.3 PWM

La modulación por ancho de pulso (Pulse Wide Modulation) es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal para transmitir información a través de esta, es más comúnmente usada en radio control, controlando 1 (un) dispositivo por canal, el estándar de duración de la señal es de 1000us (mínimo) y 2000us (máximo), el ciclo de trabajo de la señal está dado por la ecuación donde  $D$  es el ciclo de trabajo,  $t$  el tiempo donde la señal es positiva y  $T$  es el periodo de la función.



*Ilustración 39 Señal PWM*

#### 7.5.4 PPM

Modulación por posición de pulso (pulse position modulation) es una técnica en donde la amplitud y el ancho son fijos y la posición es variable, es un tipo de modulación en la cual una palabra de M bits es codificada por la transmisión de un único pulso que puede encontrarse en alguna de las posiciones posibles.

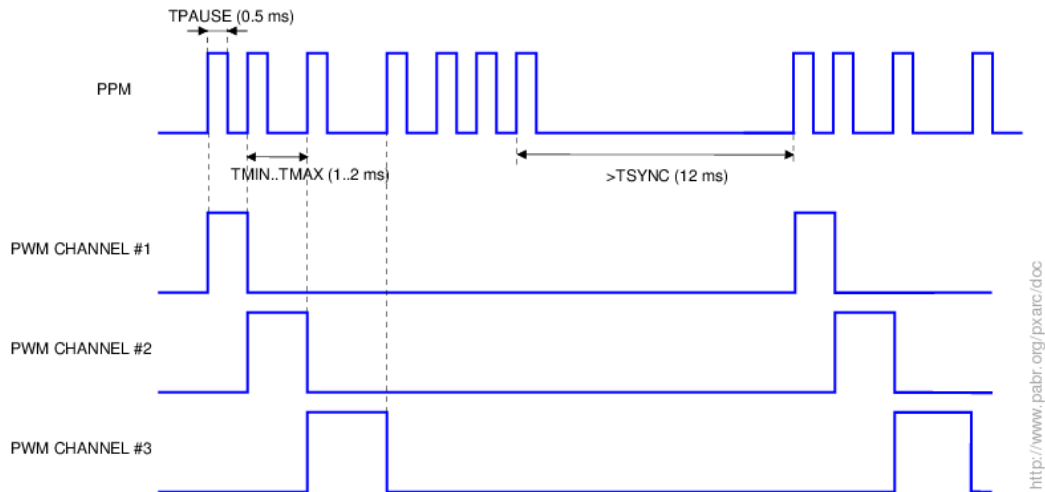


Ilustración 40 Grafico señal PPM

## 8 RANGO

### 8.1 HALE (High Altitude Long Endurance)

Sobre 15.000m de altitud y 24hrs de duración. Realizan reconocimiento y vigilancia con rango extremadamente largo y cada vez más actualizados en su armamento, usualmente son operados por las fuerzas aéreas en una base fija.

### 8.2 MALE (Middle Altitude Long Endurance)

Entre 5.000 -15.000mts de altitud y 24 hrs. De duración. Rol similar a los HALE, pero operan en áreas más cortas superando los 500km y desde bases fijas.

### 8.3 TUAV (Mid Ranger Or Tactical UAV)

Entre los 100-300km, estos vehículos son más pequeños y operados con sistemas más simples que los HALE o MALE, estos son manejados tanto por unidades de tierra o navales.

### 8.4 CLOSE-RANGE UAV

Usados por grupos de combate móvil, para otras operaciones militares/navales y propósitos civiles, por lo general estos operan en rangos de hasta 100km y son probablemente el tipo de dispositivos que más prolifera en ambos campos, incluyendo roles como reconocimiento, designación de objetivos, inspección de líneas eléctricas, pulverización de cultivos, control de tráfico entre otros.

### 8.5 MUAV or Mini UAV

Se refiere a UAV por debajo de cierta masa (no definido) probablemente menos de 20kg, pero notan pequeños como los MAV capaces de ser lanzados a mano y con rangos operativos de 30km, estos dispositivos son usados por grupos de batalla móviles y para diversos fines civiles.

### 8.6 Micro UAV or MAV

MAV originalmente define a los UAV con envergadura no superior a los 150mm, los MAV son requeridos principalmente en operaciones de espacios

urbanos, especialmente con edificios, estos dispositivos requieren un vuelo lento y con capacidad de flotabilidad y aterrizaje en “perch”.

### 8.7 NAV Nano UAV

Se supone que sean del tamaño de semillas y sean utilizados en enjambres para propósitos como la confusión de radares, los subsistemas de control pueden confeccionarse lo suficientemente pequeños para la vigilancia de rango ultracorto.

### 8.8 RHP Remotely Piloted Helicopter or VTUAV Vertical Take-off UAV

Son vehículos aéreos con la capacidad de despegue y aterrizaje vertical, en ocasiones poseen mayor importancia en operaciones, al flotar en una misión, las aeronaves de alas rotativas son menos susceptibles a las turbulencias del aire comparadas con las aeronaves de ala fija o de baja carga alar.

### 8.9 UCAV y UCAR

Desarrollo dirigido a los UAV capaces de portar armas e inclusive tomar parte del combate aire-aire, se les da el nombre de UCAV a los vehículos aéreos de combate no tripulados (unmanned combat aerial vehicle) y UCAR (unmanned Combat Robocraft) a los vehículos de ala rotativa armados para el combate no tripulado.

Otros términos aplicables a las clasificaciones son según su rango de operaciones, estos son:

- Long-Range UAV – Reemplazando a HALE/MALE.
- Medium-Range UAV -Reemplazando a TUAV
- Close-Range UAV – Reemplazando a MUAV/Mini UAV.

(Austin)

## 9 APLICACIONES.

### 9.1 Internet

El llevar acceso a internet a todos los rincones del mundo ha sido una alternativa que ha nacido en varias empresas del mundo digital, principalmente con Google, Titan Aerospace y Facebook, uno de estos es el “Aquila” dron desarrollado por Facebook con una envergadura a un Being 737.

“Con Aquila, nosotros diseñamos una nueva arquitectura de aeronaves, una que puede suportar estar meses en el aire, Aquila es alimentada solarmente, y al ser lanzado crea un radio de 50Km de comunicaciones, y se mantiene por 90 días, emitiendo una señal para las personas bajo esta área. La señal puede ser recibida por pequeñas torres y estas la convierten en redes WI-Fi o LTE para que la gente pueda conectar sus teléfono o smartphones”.



*Ilustración 41 Aquila Titan Aerospace*

## 9.2 Fotogrametría

La fotogrametría es una técnica que utiliza imágenes para determinar propiedades geométricas y espaciales de objetos, y a través de estas poder realizar mediciones espaciales, el uso de Drones en esta aérea es por su gran estabilidad de vuelo y a través del software de control de vuelo es fácilmente seteable los waypoint para definir la ruta, la fotogrametría es bastante utilizada en las áreas de:

- Urbanismo.
- Topografía.
- Hidrografía.
- Geología.
- Cartografía

## Monitoreo de instalaciones

El uso de Drones para la seguridad en instalaciones o líneas eléctricas es debido básicamente al bajo costo operacional de estos en comparación a los tradicionales vehículos terrestres o el uso de aviones o helicópteros.

## 9.3 Transporte

El utilizar Drones para transporte de carga como de pasajeros utilizando aerovías para mejorar los tiempos de llegada a destino o la entrega de suministros o asistencia médica en minutos como lo plantea Rebecca Mileham en la “E&T Magazine”

“ Imaginen un mundo donde podamos volar drones para la entrega de suministros críticos a través de terrenos escabrosos, cargar con desfibriladores de emergencia para atender a pacientes con ataques cardíacos, o dejar repuestos de vehículos en tu garage local en solo 5 minutos” (E&T Magazine)

Así también Biosphere Aerospace LLC quienes diseñaron un drone con capacidades de carga de contenedores (ElieHelou)

## Agricultura

En el área de la agricultura como en la fotogrametría el uso de drones se enfoca principalmente en su bajo costo operativo y funciones de vuelo estático y maniobrabilidad en áreas reducidas como el modelo de Volken Jung, el cual está diseñada para las labores de aplicación de pesticidas en la agricultura, forestales y vitivinícolas, con la capacidad de despegue de hasta 150kg.



*Ilustración 42 Volken Jung*

- Motor de gasolina de 2 cilindros Boxer, 20 PS.
- Diámetro de rotor d 2,8m
- Peso en vacío 35kg.
- Max. Peso de despegue sobre 75kg.
- El tiempo de vuelo de 2 horas o más son posibles
- (prototipo)



#### 9.4 Cine y deportes extremos

Como se mencionó anteriormente la gran estabilidad de equipos multirrotores los hace ideales para realizar tomas fotográficas o grabaciones aéreas en diversas situaciones, además existen hoy en día dispositivos con la capacidad de “stalk” que mantienen una distancia “X” del operador permitiendo así que este se mueva seguido por su drone.

#### 9.5 Servicios forestales

Al igual que en la agricultura, el monitoreo de extensas áreas forestales o la detección de estas, generalmente son tareas asignadas a vehículos aéreos convencionales, con altos costos operativos por lo que el uso de drones en esta área apunta a la planificación operativa, investigación de la salud en bosques, identificación de tala ilegal entre otras.

## Búsqueda y rescate

Los drones como equipos SAR de respuesta rápida son bastante utilizados en lugares de difícil acceso, con el aditamento de cámaras térmicas que permiten la búsqueda de personas en áreas de densa vegetación y poca visibilidad como también bajo nieve, también existen modelos patentados como el de “oinseon(오인션)el cual es un multirotor diseñado para la entrega de salvavidas.

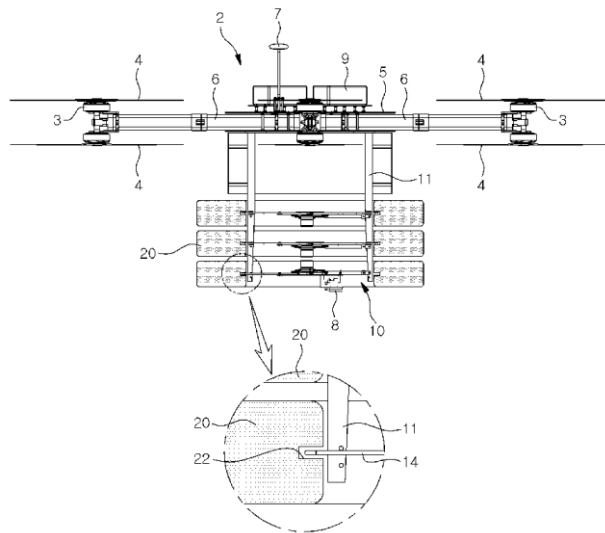


Ilustración 43 oinseon multi rotor

## 9.6 Meteorología

El uso de drones tipo HALE (High Altitude Long Endurance) puede ser utilizado para tomar datos de variables ambientales y climáticas a gran altitud pudiendo así determinar y aportar datos meteorológicos sobre tormentas y calidad del aire.

## Seguridad y control fronterizo.

Al igual que los drones de búsqueda y rescate estos son aplicables en zonas fronterizas con cámaras de visión nocturna y/o térmica para la búsqueda de inmigrantes ilegales o tráfico de drogas.

### 9.7 Auditoría de siniestros

En grandes catástrofes es posible liberar aeronaves de pilotaje remoto para diversas funciones, desde evaluar los daños en áreas urbanas y rurales, hasta en las nombradas anteriormente de búsqueda y rescate de personas o a la entrega de medicamentos en zonas aisladas.

## 10 DISCUSIÓN

Centrándose en analizar con más detención los UAV's de respuesta, como lo son los de vigilancia, auditoría de siniestros, búsqueda y rescate es que nos topamos con una problemática evidente al momento de querer evaluar daños post desastres naturales como lo afirma el siguiente estudio.

“El sensado óptico de terreno via imágenes de satélite es una de las mejores formas de producir una evaluación rápida, pero desafortunadamente cuando usas un satélite para senado remoto, tiene sus limitacoins, las cuales son:

1. En una regin tropical como indonesia, tienes limitaciones cuando las nuves cubren el objeto en la tierra
2. La resolución de satélites de muy alta resolución no es suficiente para ver objetos individuales como lo son edificios, caminos,etc
3. Generalmente. La mayoría de los casos el área con mas impacto es menor a 5000Ha
4. En fase de respuesta rápida, la información geográfica la información debería estar disponible en menos de 7 dias  
(Andaru).

Para lo cual se plantea el uso de un UAV de pequeñas dimensiones del tipo Glider moto propulsado con las siguientes características.

- RC high wing and portable backpack.
- Hand launch takeoff and Net landing.
- Electric DC brushless lipo battery.
- ground speed 50-66 km/h.
- Flight time 20min effective.

- pocket Digital Camera >12Mpix field of view >60°
- Anti-vibration mounting system (foam-based or silica gel) h.R/Ch with 1W UHF 433MHz for range <10km.
- Atopilot (open source Ardupilot)
- GPS receiver 10Hz.
- RF modem 1w 900Mhz range <10km.



*Ilustración 44 UAV tipo MotoGlider*

Si bien Podemos observar que dicha plataforma posee un rango de operación de 10km solo posee 20 minutos máximo de tiempo de operación, el modelo de glider necesita ser lanzado a mano para emprender vuelo y tiene un payload total de 750 gramos aproximadamente, claramente dada las características en un modelo liviano y de fácil manipulación para el operario que lo lanza, pero estas características si bien son beneficiosas en cuanto a transporte y al área que este necesita para el despegue genera algunos problemas para realizar capturas fotográficas desde altura.

“El ligero peso de la aeronave presenta una plataforma poco estable cuando hay viento o turbulencia, en estas condiciones es difícil que la plataforma mantenga el plan de vuelo

” (Andaru)

Como reflejan en los resultados obtenidos, el uso de una aeronave muy liviana tiene problemas de estabilidad en el aire cuando existen condiciones de

viento con turbulencias o ráfagas, aun así, estas condiciones son superables en cierta medida aplicando técnicas de aeronavegabilidad siguiendo paralelo a las corrientes de viento.

“En la práctica volar paralelo a la dirección del viento es mucho más fácil que volar con viento cursado” (Andaru).

Si bien hemos mencionado anteriormente que el uso de UAV del tipo multimotor tiene mejor rendimiento en cuanto a la estabilidad en aire, pero este tipo de sistemas tiene un bajo tiempo de operación lo que demuestra el documento publicado por “DroneLab”

The table below shows the UAS operational limitations

Limitation	Units	Platform			
		Yoda	Yeti	IRIS	Tildebeest
Operational Endurance <sup>1</sup>	minutes	~12	~12	~10	~20
Maximum Permissible Airspeed	m s <sup>-1</sup>	15	15	10	15
	knots	29.2	29.2	20	29.2
Maximum Outside Air Temperature	°C	40°C	40°C	40°C	40°C
Minimum Outside Air Temperature <sup>2</sup>	°C	-20°C	-20°C	-20°C	-20°C
Maximum Permissible Wind Speed Including Gusts <sup>3</sup>	m s <sup>-1</sup>	13.4	13.4	9	13.4
	knots	26.0	26.0	17.5	26.0
Maximum Permissible Wind Gusts, over constant, up to maximum permissible	m s <sup>-1</sup>	4.47	4.47	4.47	4.47
	knots	8.7	8.7	8.7	8.7
Operational Ceiling <sup>4</sup>	M amsl	2,000	2,000	2,000	2,000
	Ft amsl	6,562	6,562	6,562	6,562
Broadcast Frequency Signal Strength <sup>5</sup>		2.4 GHz @ 100 mW, & 433 MHz @ 10 mW	2.4 GHz @ 100 mW, & 433 MHz @ 10 mW	2.4 GHz @ 100 mW, & 433 MHz @ 10 mW	2.4 GHz @ 100 mW, & 433 MHz @ 10 mW
Balance Limitation		40 mm in all directions	40 mm in all directions	40 mm in all directions	40 mm in all directions

<sup>1</sup> NB. Operational endurance will vary depending on payload weight and battery capacity.

*Ilustración 45 Referencias Drone lab*

Podemos observar que el tiempo de operación en un multirrotor es bastante menos y dependerá del Payload que este lleve, por lo cual se reducirá aún más, en modelos comerciales utilizados en labores de búsqueda y rescate, también observamos esta problemática como en el dji inspire 2 el cual cuenta con un tiempo de vuelo máximo de 27min.

- Peso 3440g (7.58lbs) con 2 baterías y las hélices, sin el estabilizador con cámara.
- Peso máximo en el despegue 4000g (8.82 lbs)
- tiempo de vuelo máximo aprox. 27 min.
- Temperatura de funcionamiento de 20 a 40°C (de-4 a 104°F)
- batería: Capacidad 4280 mAh
  - Voltaje 22.8V
  - Tipo de batería LiPo 6S
  - Energía 97.58WH.



*Ilustración 46 DJI Inspire*

El uso de sistemas no tripulados es bastante amplio hoy en día debido a la reducción de costos que esto significa en algunas áreas y el aprovechamiento de sus capacidades en las diferentes versiones que existen, no obstante, aún quedan nichos mejorables en cuanto a las capacidades de estos vehículos, principalmente apuntando a sistemas de respuesta y la utilización de estos en diversos casos además de la adaptabilidad a las diferencias geográficas y climáticas.

Teniendo en cuenta los datos ya vistos es que una gran opción para los puntos propuestos es el desarrollo de un sistema tipo glider moto propulsado de mediana envergadura o de un aeromodelo de ala alta con una gran superficie alar similar al modelo “senior telemaster” o “kadet senior” ya que se buscan criterios similares a los siguientes.

“Una gran capacidad de carga para la electrónica y la botella de agua abordo, y un vuelo continuo de más de 1 hora”. (Erdos)

Para el logro de estos objetivos se analizará el rendimiento de diversos tipos de motorización en la búsqueda de un equilibrio entre potencia y consumo, además de analizar diversos modelos de aviones o planeadores en la búsqueda de una envergadura alar que pueda soportar una payload para los componentes utilizados, así mismo analizar el comportamiento de estos modelos en diferentes condiciones climáticas.



Junto con avanzar en la búsqueda de ampliación de un sistema de control sintético para que el piloto de estas aeronaves pueda contar con la información necesaria para un óptimo y eficiente vuelo. Además de los puntos antes mencionados se considerarán los materiales que den a este sistema la resistencia, viabilidad y confianza frente a los distintos escenarios climáticos y geográficos.

“Ademas, la aeronave necesita características de vuelo estable y de vuelo lento, capacidad de asistir con reacciones autónomas y adquisición de imágenes durante el vuelo, en la aeronave se debe considerar el tamaño y peso de los equipos de abordo para vuelo autónomo, navegación basada en GPS e imagen en tierra” (*Erdos*

## 11 DESARROLLO DE PROYECTO

### 11.1 Factores y requerimientos

Para el desarrollo de este proyecto debemos tener en cuenta las situaciones en que se desenvolverá este, como lo son rescate en zonas de media/alta montaña, sobre grandes masas de agua o ambientes urbanos.

Factores son aquellas variables que no podemos modificar, para la definición de los factores de diseño se tomaron en cuenta los siguientes parámetros.

- Temperatura, el dispositivo debe operar con temperaturas mínimas de entre -5° a -17°C y soportar máximas de hasta 60°
- Impermeabilidad, debido a la condensación producida en altura y las condiciones climáticas
- Soportar vientos en ráfaga, debido a la configuración geográfica, es común que en nuestro país en altura o cercano al mar se generen vientos en ráfaga cambiantes y esto podría desestabilizar nuestro UAV

Gracias a la información recopilada anteriormente en el marco teórico y la información del estado del arte actual de los UAV, es necesario tener en consideración los siguientes requerimientos para que el proyecto cumpla los objetivos estipulados.

#### 11.1.1 REQUERIMIENTOS

- Eficiencia energética Híbrida. (Debe existir el equilibrio entre peso y duración de la potencia del dispositivo.)
- Rango Operativo. (debe cumplir con un equilibrio entre el tiempo de vuelo y la distancia máxima de operación)
- Adaptabilidad. (el sistema debe poder adaptarse a diferentes terrenos y condiciones climáticas)
- Velocidad de maniobra. (el dispositivo debe poder responder de forma ágil a situaciones cambiantes y poseer una velocidad crucero adecuada al rango operativo)
- Ayudar en el reconocimiento de personas (el dispositivo debe poder distinguir figuras humanas enteras o parciales a través de visión artificial)

### 11.1.2 Reconocimiento de personas

Una de las funciones principales es la búsqueda y rescate por esto es que el uso de cámaras y procesamiento de imágenes durante el vuelo es primordial para ayudar en operaciones reales,

Para esto utilizaremos las siguientes herramientas:

#### 11.1.2.1 *Open cv*

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) es una biblioteca de software de visión de computadora y de aprendizaje automático de código abierto. OpenCV fue construido para proporcionar una infraestructura común para aplicaciones de visión artificial y para acelerar el uso de la percepción de la máquina en los productos comerciales. Al ser un producto con licencia BSD, OpenCV facilita que las empresas utilicen y modifiquen el código.

La biblioteca cuenta con más de 2500 algoritmos optimizados, que incluye un conjunto completo de algoritmos de aprendizaje por ordenador y de aprendizaje por ordenador tanto clásicos como de vanguardia. Estos algoritmos se pueden usar para detectar y reconocer rostros, identificar objetos, clasificar acciones humanas en videos, rastrear movimientos de cámara, rastrear objetos en movimiento, extraer modelos 3D de objetos (OpenCV, s.f.)

#### 11.1.2.2 *Python*

Python es un lenguaje de programación interpretado cuya filosofía hace hincapié en una sintaxis que favorezca un código legible.

Se trata de un lenguaje de programación multiparadigma, ya que soporta orientación a objetos, programación imperativa y, en menor medida, programación funcional. Es un lenguaje interpretado, usa tipado dinámico y es multiplataforma.

### 11.1.3 Desarrollo del software

Para desarrollar este programa y poder aplicarlo a una plataforma móvil aérea utilizaremos una raspberry pi 3b+, para esto realizamos lo siguiente para poder configurarla de forma adecuada

Expandimos nuestro sistema de archivos para tener todo el espacio que nos provee nuestra tarjeta sd, para esto utilizaremos el siguiente comando

**\$ Sudo raspi-config**

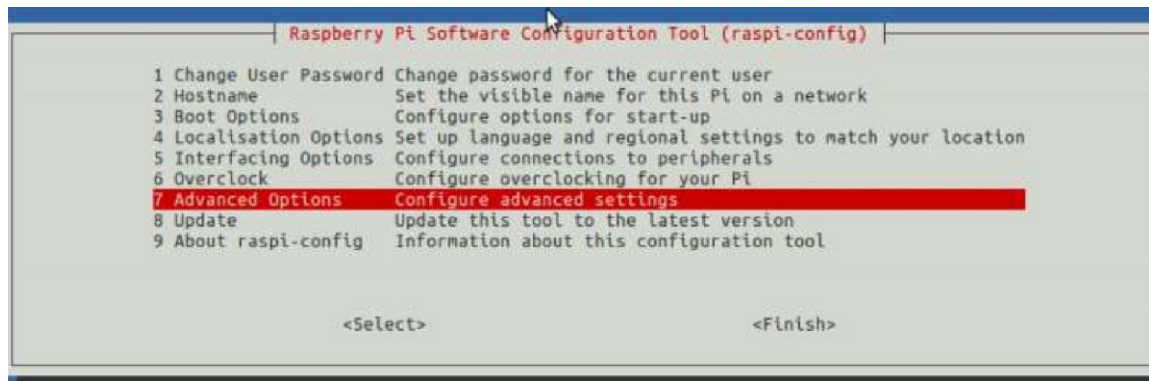


Ilustración 47 menu configuracion raspberry pi

A continuación, seleccione "Advanced Options", una vez allí, se abrirá otro menú, en este seleccione "Expand filesystem", una vez hecho esto debemos reiniciar nuestra raspberry pi y podremos utilizar todo el espacio en nuestra tarjeta de memoria con la raspberry pi



Ilustración 48 Sub-menu configuraciones avanzadas

Una vez se ha reiniciado nuestra raspberry, continuamos con la instalación de CMake una herramienta de desarrollo que nos ayudara a la construcción de los paquetes de openCV

***\$ sudo apt-get install build-essential cmake pkg-config***

Además, necesitamos instalar varios paquetes que nos permitirán cargar distintos formatos de imágenes y video directamente del disco

***\$ sudo apt-get install libtiff5-dev libjpeg-dev libpng-dev libz-dev libfreetype6-dev***

***\$ sudo apt-get install libavcodec-dev libavformat-dev libswscale-dev libv4l-dev***

***\$ sudo apt-get install libxvidcore-dev libx264-dev***

Por ultimo instalaremos las cabeceras de Python 2.7 y Python 3 para poder compilar openCV

***\$ sudo apt-get install python2.7-dev python3-dev***

Una vez terminada la instalacion o actualización de las cabeceras de Python debemos descargar y descomprimir los archivos base de openCV

```
$ wget -O opencv.zip https://github.com/Itseez/opencv/archive/3.3.0.zip  
$ unzip opencv.zip
```

Aca debemos fijarnos que versión de openCV utilizaremos, en este caso se utilizó la 3.3.0 ya que es una versión probada y estable, la última versión disponibles es la 4.0 pero no se asegura que nuestro programa funcione en ella

Para tener una instalación completa de openCV tambien agregaremos a la instalacion los paquetes de opencv\_contrib

```
$ wget -O opencv_contrib.zip  
https://github.com/Itseez/opencv_contrib/archive/3.3.0.zip  
$ unzip opencv_contrib.zip
```

ya listo esto creamos nuestro entorno virtual para no generar conflicto con el resto de dependencias de Python o raspberry

```
$ sudo pip install virtualenv virtualenvwrapper  
$ sudo rm -rf ~/.cache/pip
```

Para que funcione correctamente debemos modificar nuestro archivo profile agregando las siguientes líneas

```
# virtualenv and virtualenvwrapper  
export WORKON_HOME=$HOME/.virtualenvs  
export VIRTUALENVWRAPPER_PYTHON=/usr/bin/python3  
source /usr/local/bin/virtualenvwrapper.sh  
$ echo -e "\n# virtualenv and virtualenvwrapper" >> ~/.profile  
$ echo "export WORKON_HOME=$HOME/.virtualenvs" >> ~/.profile
```

```
$ echo "export VIRTUALENVWRAPPER_PYTHON=/usr/bin/python3" >> ~/.profile  
$ echo "source /usr/local/bin/virtualenvwrapper.sh" >> ~/.profile
```

Terminado esto solo nos falta compilar e instalar openCV, para esto utilizaremos las funciones de CMake de la siguiente forma

```
$ cd ~/opencv-3.3.0/  
$ mkdir build  
$ cd build  
$ cmake -D CMAKE_BUILD_TYPE=RELEASE \  
  -D CMAKE_INSTALL_PREFIX=/usr/local \  
  -D INSTALL_PYTHON_EXAMPLES=ON \  
  -D OPENCV_EXTRA_MODULES_PATH=~/opencv_contrib-3.3.0/modules  
  \  
  -D BUILD_EXAMPLES=ON ..
```

Terminada la compilación procedemos a instalar open cv

```
$ make -j4  
$ sudo make install  
$ sudo ldconfig
```

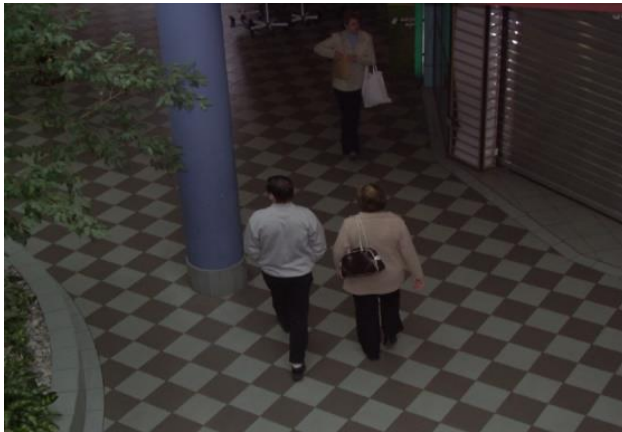
Ya instalado verificamos que Python cargue correctamente el modulo de openCV (cv2)



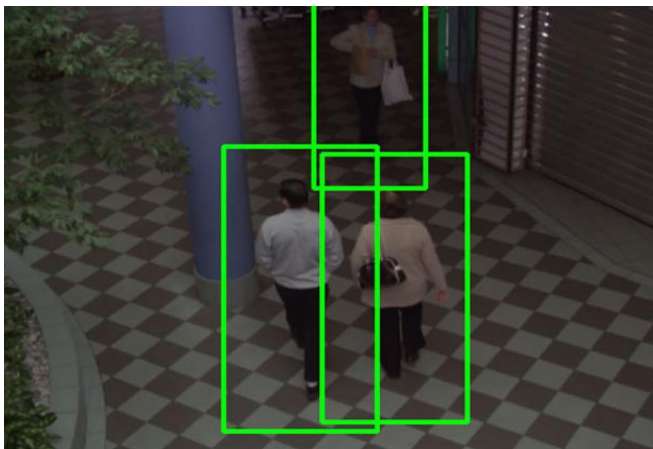
```
(cv) pi@raspberrypi:/usr/local/lib/python3.5/site-packages $ python
Python 3.5.3 (default, Jan 19 2017, 14:11:04)
[GCC 6.3.0 20170124] on linux
Type "help", "copyright", "credits" or "license" for more information.
>>> import cv2
>>> cv2.__version__
'3.3.0'
```

*Ilustración 49 python cargando modulo cv2*

Para poner a prueba la funcionalidad del programa se utilizaron imágenes y videos de transeúntes



*Ilustración 50 imagen normal*



*Ilustración 51 Imagen procesada con haar cascade*

Para realizar la identificación de personas se tuvo que realizar un programa el cual realiza una calificación de la imagen previo entrenamiento, para este caso se utilizaron 3 archivos de entrenamiento Haar cascade para detectar parte superior o inferior del cuerpo o si es cuerpo completo

```
from __future__ import print_function

from imutils.object_detection import non_max_suppression

from imutils import paths

import numpy as np

import argparse

import imutils

import cv2

ap = argparse.ArgumentParser()

ap.add_argument("-i", "--images", required=True, help="path to images directory")

args = vars(ap.parse_args())

# inicializa haar cascade para detección de personas

hog = cv2.HOGDescriptor()

hog.setSVMDetector(cv2.HOGDescriptor_getHarcascade_fullbody.xml())

hog.setSVMDetector(cv2.HOGDescriptor_getHarcascade_lowerbody.xml())

hog.setSVMDetector(cv2.HOGDescriptor_getHarcascade_upperbody.xml())

imagePaths = list(paths.list_images(args["images"]))
```

```
for imagePath in imagePaths:
```

```
    image = cv2.imread(imagePath)
```

```
    image = imutils.resize(image, width=min(400, image.shape[1]))
```

```
    orig = image.copy()
```

#### 11.1.4 Control y recepción de imagen

Ya que buscamos un área operativa lo más amplia que podamos es que el sistema de transmisión de video y control se vuelve muy importante, pero para seleccionar lo que más nos convenga se tomaron las siguientes consideraciones

- Cantidad de canales
- Potencia/distancia de transmisión
- Fiabilidad
- Tipo de dato de transmisión

La fiabilidad de transmisión principalmente está dada por los protocolos usados, diferenciaremos 2 enlaces de datos con sus respectivos protocolos, estos serán los enlaces de

- Tx a Rx (comunicación entre emisor y receptor)
- Rx a Fc o actuadores

Diferenciaremos 2 tipos principales de transición RX

##### 11.1.4.1 *PWM*

PWM es el protocolo más común y básico utilizado, aun se puede encontrar en la mayoría de los sistemas RC, las limitantes principales son que necesitamos un cable para cada canal que deseemos controlar, lo que nos deja una gran cantidad de cables

##### 11.1.4.2 *PPM*

La ventaja de PPM es que solo se necesita un cable de señal para varios canales (típicamente 8 canales máximo), en lugar de un número de cables individuales. Por lo tanto, solo debe conectar el cable de tierra, de alimentación y de señal.

Estos protocolos son análogos, si bien existen protocolos digitales estos no son universales si no que cada fabricante ha desarrollado el propio, siendo los más populares

En los protocolos de TX Se realizaron pruebas con 2 radios diferentes tenemos que cada marca ha desarrollado el propio, en este caso las radios que probamos cuentan con protocolo

#### *11.1.4.3      ACCST*

Advanced Continuous Channel Shifting Technology, esta tecnología va cambiando de canales de forma automática en busca de mejor recepción

#### *11.1.4.4      DSMX*

DSMX es un protocolo que al igual que el anterior cambia de frecuencia la señal para evitar interferencias, pero este utiliza 2 bandas continuamente para tener mayor estabilidad

Las radios utilizadas fueron un Frsky i6 y una Spektrum dx8, ambas radios funcionan a frecuencia de 2.4GHz, se realiza una prueba de campo con 2 aeronaves diferentes para buscar cuál de estos 2 equipos entrega mayor distancia y fiabilidad para control, obteniendo los siguientes datos.

Radio	rango (m)	fabricante	Rango (m)	multirotor	rango avion (m)
Frsky	1.600		135		325
Spektrum	1.600		358		684

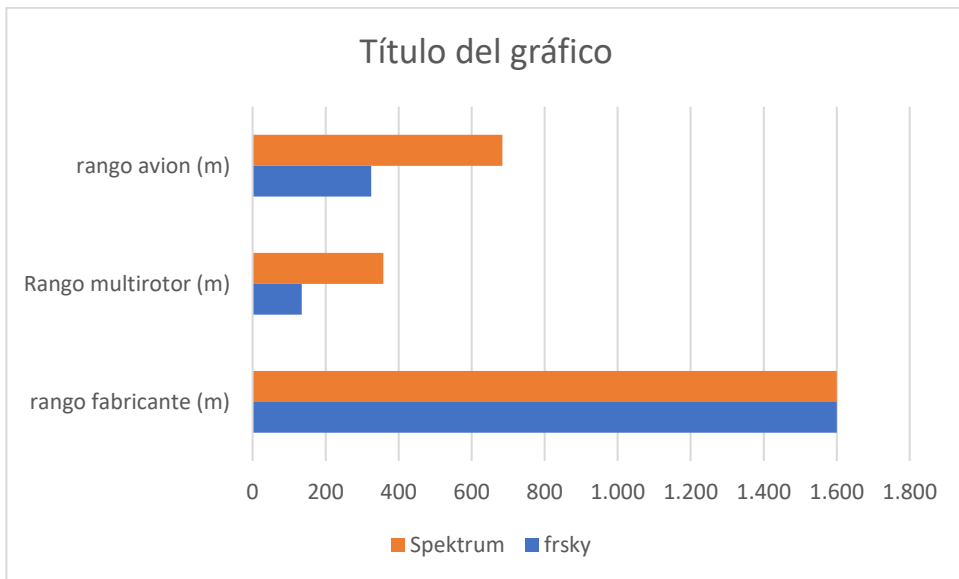


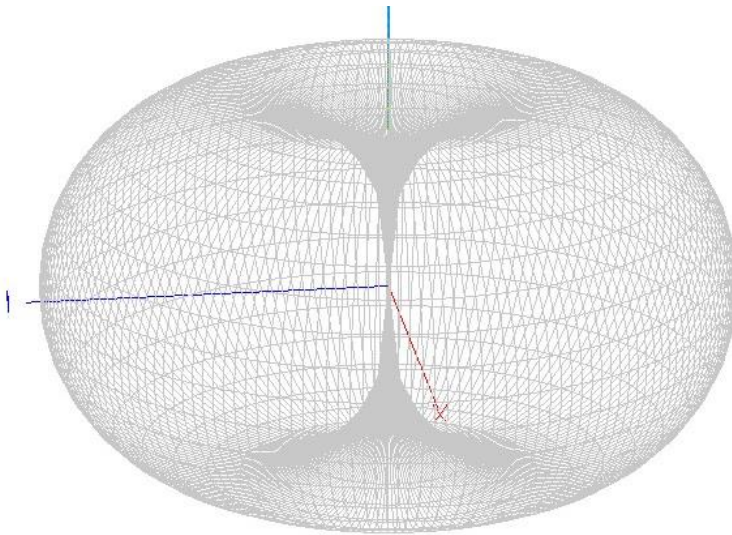
Ilustración 52 grafico comparación de radios

Estos datos demuestran que el rango es afectado por los motores en un multi rotor, además deja en evidencia que el rendimiento de la Spektrum dx8 es casi el doble, aun así, el rango obtenido es muy limitado, por esta razón se buscó un sistema adicional a la radio que tenga un mejor desempeño.



Ilustración 53 Scherer UHF tx700lite

Este sistema funciona a una frecuencia de 430-433 MHz lo que mejora la penetración de señal en objetos y nos otorga una mayor distancia operacional, según el fabricante este nos da 25Km de radio de alcance, al testearlo obtuvimos un rango funcional de 23.5 Km con la antena estándar, al realizar una prueba con una antena omnidireccional de  $\frac{1}{2}$  onda obtuvimos mejores resultados, aumentando de 23.5 a 30km nuestro rango.



*Ilustración 54 dispersión de señal de antena omnidireccional*

Al analizar la dispersión de señal del tipo de antena vemos que es como una “dona” teniendo solo como puntos muertos de señal la parte superior de esta.

Para la señal de video se tuvo en consideración la experiencia obtenida en las pruebas anteriores, por lo cual se decidió utilizar un sistema en 1.2Ghz para no generar interferencia. Esto nos brindó una estabilidad en la señal de control y la eliminación de flicqueo/parpadeo en la imagen a largas distancias, mejorando de esta forma la experiencia de vuelo.

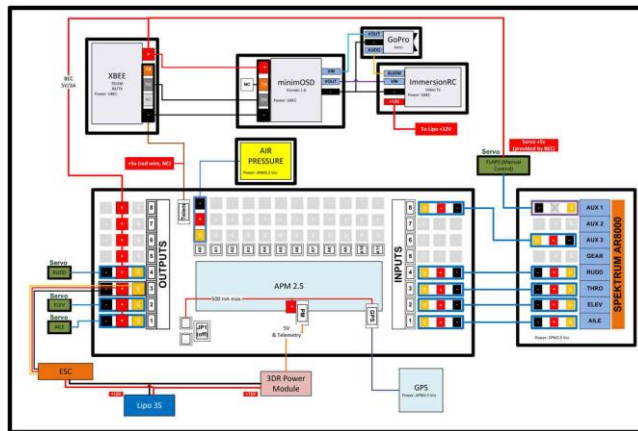


#### 11.1.4.5 Control de vuelo

Ya que principalmente volaremos en modo BLOS (fuera de línea vista), necesitamos ayuda electrónica para mantener un vuelo optimo, además un controlador de vuelo nos permite controlar la posición vía gps/gnss, obtener datos mediante telemetría o OSD por la señal de video

El funcionamiento básico de la controladora de vuelo será proveer estabilidad al modelo, esto lo hace basado en un conjunto de giroscopio y acelerómetro, dependiendo la versión y tipo de controladora a usar puede variar la cantidad de sensores con los que cuente.

Internamente la placa controladora mantiene estable nuestro avión comparando los valores del giroscopio y la aceleración producida, estos valores son cargados a un PID (control proporcional integral derivativo), por lo tanto, si el acelerómetro muestra una variación muy grande la placa ajustara el PID para que actué más rápido y nivele los valores del giroscopio



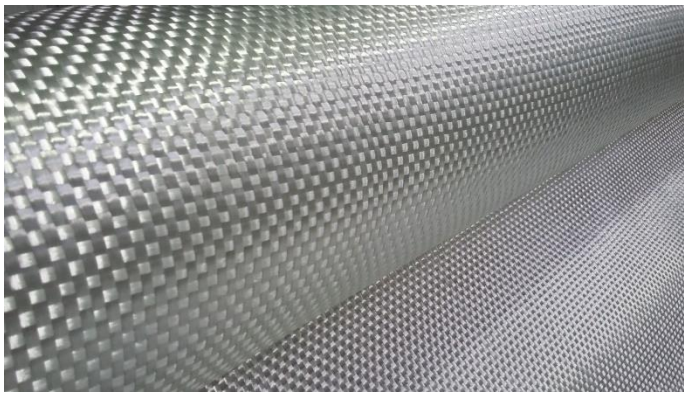
*Ilustración 55 diagrama de conexión de controladora de vuelo*

## 11.2 Diseño de prototipo

Tomando en consideración los requerimientos y factores, el UAV presenta las siguientes características

### 11.2.1 Materialidad

Para la construcción del fuselaje, cobertura de alas y superficies de control se decidió utilizar fibra de vidrio tipo tela 650 ya que provee mayor resistencia mecánica a la tracción y al impacto que la fibra de vidrio convencional



*Ilustración 56 Fibra de vidrio tela 650*



*Ilustración 57 Fibra de vidrio tipo mat 300*

Para la laminación de la fibra de vidrio se utilizó resina epoxica ya que confiera mayor rigidez y alta resistencia mecánica en comparación a la resina de poliéster, la cual es utilizada para piezas más flexibles



*Ilustración 58 resina de poliéster*



*Ilustración 59 resina epoxica*

La estructura interna de soporte tanto del fuselaje como las alas se realizó en madera laminada de Laurencia y vigas de pino, esta selección de maderas se debe a la resistencia que proporciona la Laurencia laminada, requiriendo así maderas de menos grosor que si utilizáramos un laminado tradicional



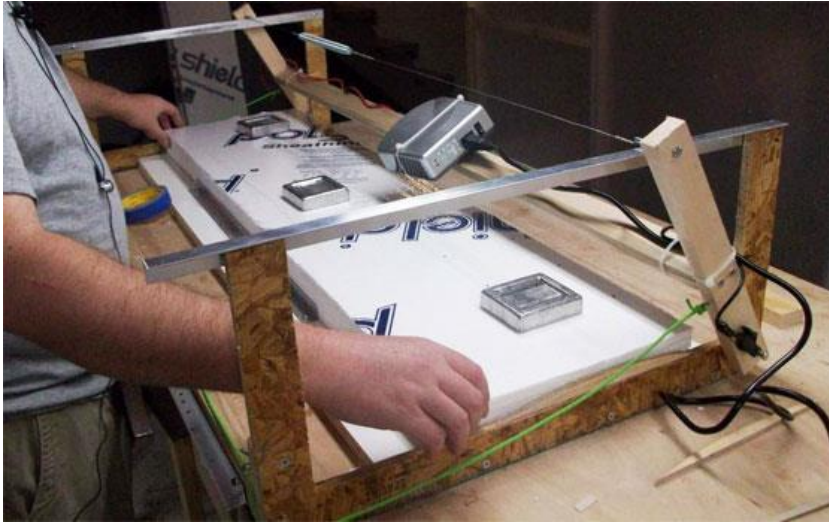
*Ilustración 60 plancha laurelia terciada*

Para realizar la cobertura de fibra de vidrio se utilizaron moldes positivos de polietileno expandido en 50kg/m<sup>3</sup> de densidad para lograr así un acabado parejo después del trabajo de mecanizado



*Ilustración 61 moldes alas*

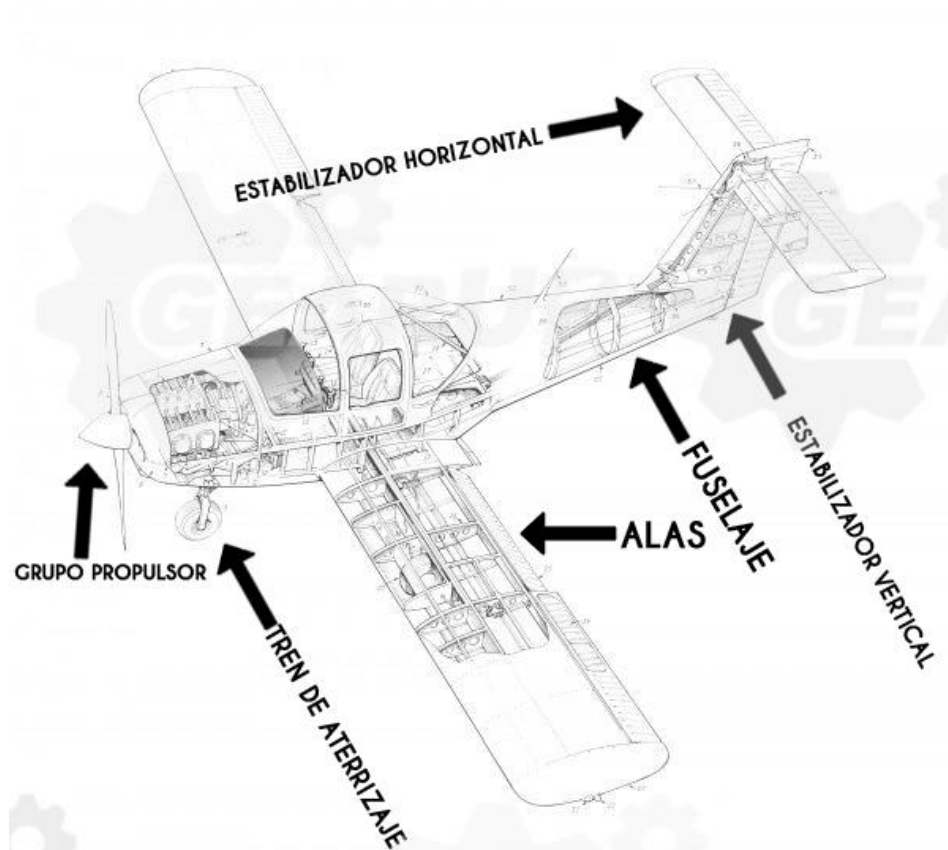
El método de mecanizado utilizado es el de hotwire, el cual utiliza un filamento de nicrom, es una aleación de níquel y cromo que presenta altas temperaturas de fusión y resistente a la corrosión, por estas características es muy utilizado como elemento de calefacción en sistemas eléctricos



*Ilustración 62 cortador de nicrom*

### 11.2.2 Diseño del modelo

Una vez hemos definido todo lo que debe llevar nuestro prototipo ya tenemos una idea general de su peso, a esto debemos agregar lo necesario como kit de apoyo en caso emergencias y posibles expansiones del sistema, se define como peso máximo del avión 15Kg, con este dato definiremos las dimensiones de nuestro modelo, primero conozcamos a groso modo las partes de un avión



*Ilustración 63 Partes avión*

La principal fuente de sustentación de la aeronave son las alas, por lo tanto, nos centraremos en ellas, las alas cuentan con:

#### 11.2.2.1 Envergadura

la envergadura de un avión es básicamente la distancia total que existe entre los extremos de las alas.

#### 11.2.2.2 Superficie

corresponde a la superficie total del ala, esta se calcula como  $E * \Delta cuerda$ , en donde  $E$  corresponde a la envergadura y  $\Delta cuerda$ , a la cuerda promedio del ala (cuerda es una línea imaginaria trazada entre los bordes de ataque y fuga del ala)

#### 11.2.2.3 Carga alar

la carga alar consiste en la repartición del peso por unidad de superficie en el avión  $\Delta Peso/S$ , donde  $\Delta Peso$  es el peso máximo del avión y  $S$  la superficie alar

#### 11.2.2.4 Coeficiente C

coeficiente de carga es el que nos determina el comportamiento del avión, entre más pesado sea un avión para la misma superficie más alto será el coeficiente y más velocidad/potencia necesitara para el vuelo, entre más bajo, el avión planeara mejor y podrá volar a velocidades más bajas, este lo calculamos como  $C/(\sqrt{S})$  donde  $C$  corresponde a la carga alar y  $S$  a la superficie.

La clasificación según su coeficiente C es la siguiente:

- C            Tipo de Avión
- 2-3        Velero térmico
- 4-5        Motoplaneador
- 6-8        Entrenador
- 9-12      Acrobático
- 13-15     Carreras, Escala



Teniendo esto en cuenta procedemos a buscar alguna configuración que nos sirva, poseemos el peso máximo del modelo (15Kg) y estableceremos un coeficiente de 6 a 8 para que presente un comportamiento como un Trainer

Tomaremos como base las dimensiones del RQ-2 pioneer el cual presenta una envergadura de 5.2m y el IAI Scout con 3.68 metros, realizamos los cálculos con una calculadora online con 5000m de envergadura y una cuerda de 300 mm y nos da lo siguiente

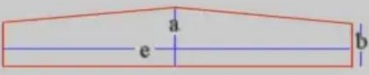
<b>Peso total del modelo</b>	15000	gramos.	
Envergadura total (e)	5000	milímetros	
Cuerda máxima (a)	300	milímetros	
Cuerda mínima (b)	300	milímetros	
<b>Calcular</b>			
Cuerda media	300	milímetros	Coeficiente 8
Superficie total	150	dm <sup>2</sup>	Alargamiento en ala rectangular 16.67 : 1
Corresponde a un modelo entrenador algo pesado			Alargamiento en ala aflechada 0 : 1
<b>Carga alar de 100 gramos/dm<sup>2</sup></b>			

Ilustración 64 carga alar

Si bien las dimensiones se encuentran bajo nuestros requerimientos, un entrenador pesado dependerá más del motor para poder planear, modificaremos las medidas buscando un mejor planeo y reducir el largo de las alas, para esto aumentaremos la cuerda, así aumentará nuestra superficie total y tendremos mejores características de planeo

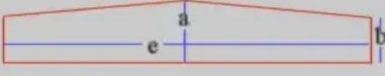
<b>Peso total del modelo</b>	15000	gramos.	
Envergadura total (e)	4000	milímetros	
Cuerda máxima (a)	450	milímetros	
Cuerda mínima (b)	450	milímetros	
<b>Calcular</b>			
Cuerda media	450	milímetros	Coeficiente 6
Superficie total	180	dm <sup>2</sup>	Alargamiento en ala rectangular 8.89 : 1
Corresponde a un modelo entrenador ligero			Alargamiento en ala aflechada 0 : 1
<b>Carga alar de 83 gramos/dm<sup>2</sup></b>			

Ilustración 65 carga alar final



De esta forma bajamos nuestro coeficiente de carga, así nuestro prototipo tendrá un mejor desempeño a bajas velocidades

Una vez ya tenemos definida nuestra envergadura procedemos con el diseño del fuselaje, este será de tipo doble cola para montar la planta motriz en configuración pusher y liberar peso



*Ilustración 66 Avion doble cola OV-10 Bronco*

El primer boceto muestra una cúpula transparente en la parte baja del fuselaje para montaje de camaras

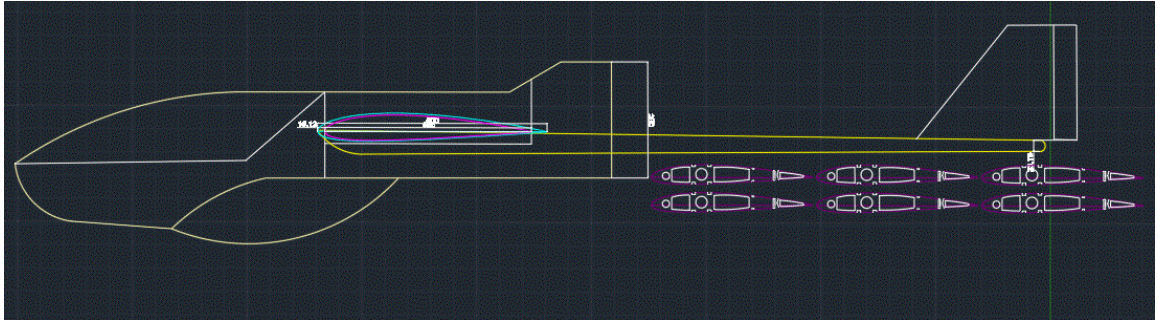


Ilustración 67 boceto1

por las dimensiones y ambiente donde se desempeñará se decide cambiar la forma del empenaje, aumentando las dimensiones de las derivas

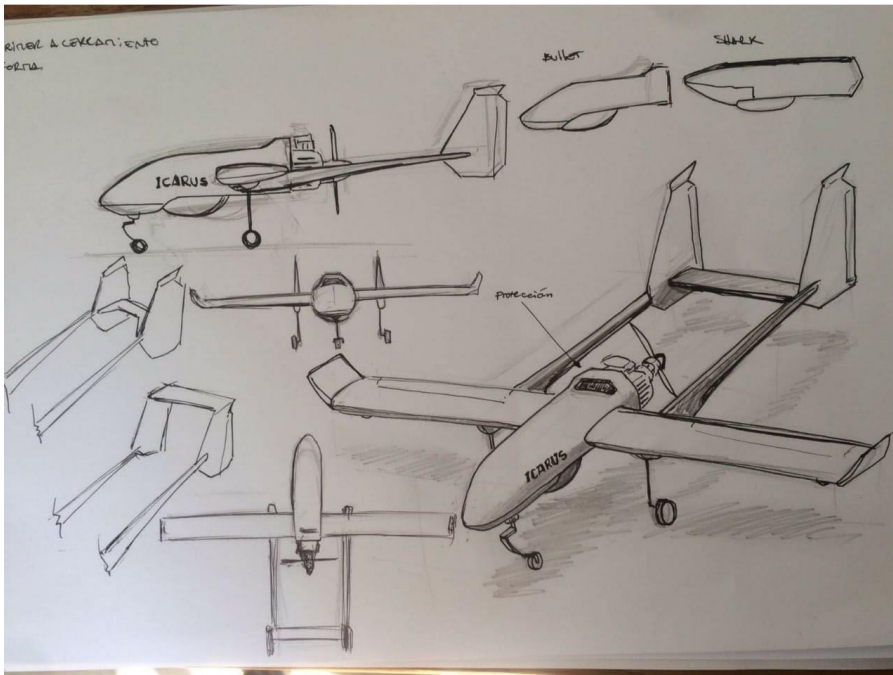


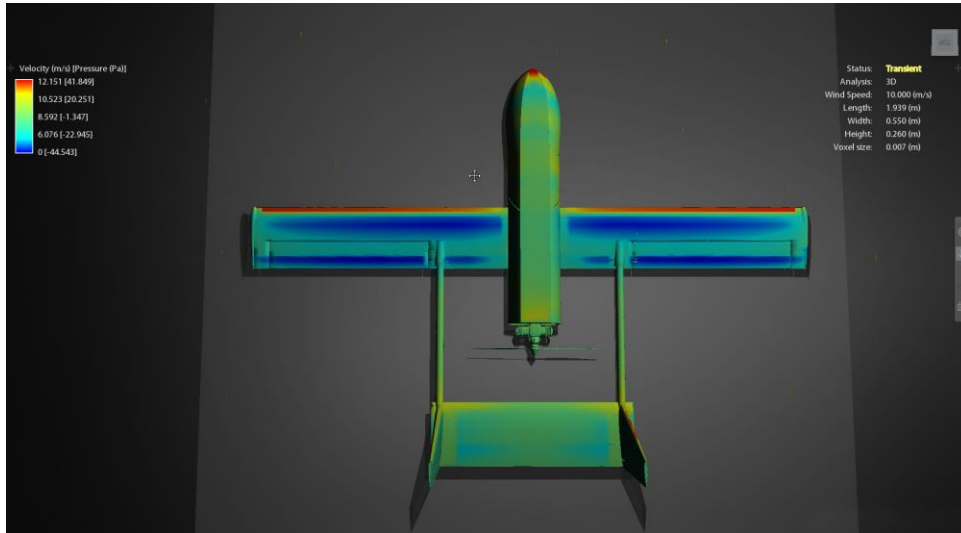
Ilustración 68 diseño con modificación de empenaje

Al realizar algunas pruebas se decide eliminar la cubierta en la panza de la aeronave ya que más que ayudar obstaculiza el rango de visión de las cámaras, además de esto se eliminan los winglets y las colas se dejaron rectas y tubulares, dando así los parámetros para el modelo final



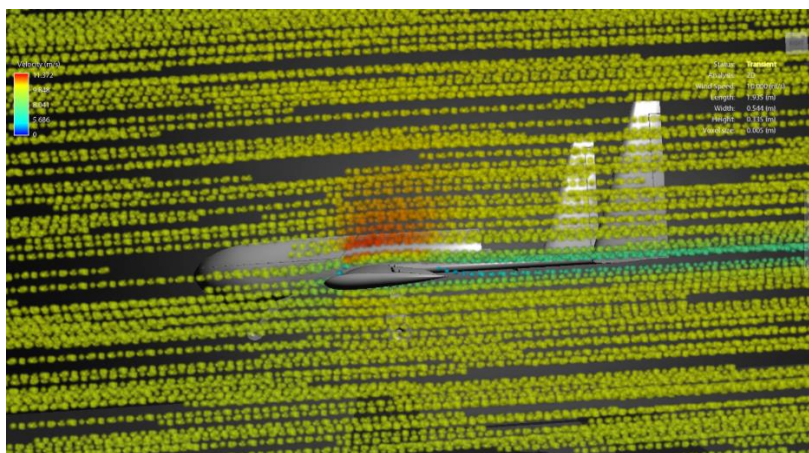
*Ilustración 69 renderizado de modelo*

Se realizaron pruebas del modelo bajo un software de CFD (Computational Fluid Dynamics) el cual nos permite realizar pruebas de túnel de viento de nuestro modelo



*Ilustración 70 simulacion presion en alas*

Podemos observar cómo se forma una zona de baja presión en la parte superior de las alas, esta es la que no ayuda a generar sustentación, además vemos que el modelo en si no genera grandes zonas de alta presión, lo cual nos indica que su carga de arrastre aerodinámico es baja



*Ilustración 71 simulacion de fluidos en al*

### 11.2.3 Motorización

Un sistema de motorización para una aeronave de este tipo es algo complejo debido a los factores de peso y rendimiento que se buscan, descartaremos sistemas complejos como los son las turbinas ya que estas necesitan un diseño más especializado de fuselaje para insertarlas, nos centraremos en motorización eléctrica y a combustión utilizada en aeromodelos de gran escala (bigscale), fijaremos de forma arbitraria un peso para el prototipo basado en modelos similares los cuales rondan los 15-18kg sin carga y un máximo de 25-27kg con carga.

#### 11.2.3.1 *Motorización eléctrica*

Cuando hablamos de bigscale, las medidas de los motores eléctricos son a comparación de motores de combustión, en este caso el ideal es un motor entre 120-170cc, utilizaremos de referencia un motor eléctrico equivalente a 150cc que es lo mas grande que se fabrica de forma masiva.

Modelo	Potencia (w)	Voltaje (v)	Peso (g)	rpm
Turnigy rotomax 150cc	9800	51.8	2530	150kv



*Ilustración 72turnigy rotomax 150cc*

Kv: kv es nos representa las rpm en relación al voltaje en este caso son  $150 * 51.8 = 18.689.786$  esto es en vacío.

Si bien es un motor liviano a este aun le faltan las baterías y ESC (electronic speed controller) para hacerlo funcionar, en cuanto a capacidad apuntaremos a un aproximado de 6 horas

Por lo tanto, el peso total de la implementación del motor eléctrico vendría siendo

$$\text{Motor} + \text{ESC} + \text{baterias o en numeros } 2530 + 406 + (2405 * 3) = 10151$$

10kg solo en motorización, utilizando las misas baterías para alimentar toda la electrónica interna.



### 11.2.3.2 Motor a combustión

La motorización a combustión es lo mas tradicional en grandes aviones, utilizaremos de referencia un motor DEL-170.

Modelo	potencia	combustible	Peso	rpm
dle 170	17.5	93	3552	1100



*Ilustración 73 DLE 170*

Si bien en comparación con el eléctrico este motor posee un mayor peso, nos entrega algunas ventajas, en cuanto a peso total.

$$\text{motor (+electronica) + combustible} \quad 4091 + 4320(\text{gasolina aprox})$$

El peso estándar de la gasolina es de 720 kg/m<sup>3</sup> en base a esto calculamos el peso de 6 litros de gasolina. la utilización de un motor a combustión nos da un peso total menor que al eléctrico y debido al consumo de combustible nos da un peso variable decreciente y mediante este más tiempo en vuelo, lo que nos ayuda a aligerar la carga y mejorar la eficiencia al ir alivianándose, en contrario la motorización eléctrica siempre pesara lo mismo.

## 12 CONCLUSIONES

En este proyecto se ha presentado un sistema RPA con orientación en la búsqueda y rescate, compuesto por la unión de diversos sistemas individuales como lo son: Sistema LRS (Long Range System), Control y estabilizador de vuelo, FPV (First Person View) entre otros. De acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas y simulaciones realizadas, la RPA propuesta puede ser un gran candidato para resolver las problemáticas expresadas, pudiendo competir con otras soluciones comerciales existentes hoy en día. De esta forma se demuestra que la tecnología de UVS de ala fija puede ser tan versátil y útil como lo son los hoy lo populares de ala rotativa.

Como fortaleza se puede decir que los resultados obtenidos fueron satisfactorios, ya que se cumplieron debidamente los requerimientos obteniendo una RPA con un peso máximo total de cerca de 27kg y un área de acción de 30km

En cuanto a las debilidades las limitaciones por potencia eléctrica son notables, ya los sistemas LRS y FPV para estas distancias generan un consumo elevado y esto genera una limitante en el tiempo de vuelo, para aumentar el tiempo de funcionamiento nos hace disponer de celdas de batería de mayor capacidad y mayor cantidad, aumentando el peso de la aeronave y dejándonos menos capacidad y espacio de carga

Este proyecto es escalable pudiendo mejorar a futuro características como: la eficiencia energética utilizando sistemas de generación (alternador) como el Sullivan s676-600f-01 diseñado especialmente para UAV's, también se puede mejorar el área de acción mediante la implementación de mejores sistemas de antenas como lo sería la implementación de antenas direccionales con "antenna tracker", y por ultimo mejorar el sistema de detección de personas entrenando al algoritmo y utilizando cámaras DSLR y teleobjetivos en conjunto a la librería gphoto2 para su control de abordó



## 13 BIBLIOGRAFÍA

- Andaru, R. R. (s.f.). Obtenido de <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7821934>
- Austin, R. (s.f.). Unmanned Aircraft Systems. En R. Austin, *Unmanned Aircraft Systems UAVS desing, devolopment and deployment* (págs. 37-38). Wiley.
- Borrell, G. (s.f.). <http://torroja.dmt.upm.es/guillem/blog/>. Obtenido de <http://servidor-da.aero.upm.es/wip/apuntes/quinto/calculo-de-aviones/ca.pdf>: <http://servidor-da.aero.upm.es/wip/apuntes/quinto/calculo-de-aviones/ca.pdf>
- Centre for Telecommunications and Information Engineering, Monash University. (8 de Marzo de 2016). *Centre for Telecommunications and Information Engineering, Monash University*. Obtenido de Remote Piloted Aerial Vehicles: An Anthology: [http://www.ctie.monash.edu.au/hargrave/rpav\\_home.html#Menu](http://www.ctie.monash.edu.au/hargrave/rpav_home.html#Menu)
- Code.Facebook. (s.f.). Obtenido de cade facebook: <https://code.facebook.com/posts/993520160679028/building-communications-networks-in-the-stratosphere/>
- DAN 91. (s.f.). DGAC. Obtenido de <https://www.dgac.gob.cl/portalweb/rest-portalweb/jcr/repository/collaboration/sites%20content/live/dgac/categories/normativas/normasDAN/documents/DAN-91.pdf>
- Danilo Villarroel Canga, R. F. (20 de Julio de 2010). *Museo aeronautico y del espacio*. Obtenido de <http://www.museoaeronautico.gob.cl/home/publicaciones/boletines/boletinmnaeno9ano2010>
- DroneLab. (9 de Mayo de 2016). *ESI DroneLab Operations Manual*. Obtenido de DroneLab-Operations Manual.
- E&T Magazine. (s.f.). Obtenido de <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7725266>
- Elie Helou, J. (s.f.). Obtenido de <https://patents.google.com/patent/US20140217230A1/en?q=drone&q=transport>
- ELMER A. SPERRY, J. (14 de JUNIO de 1932). <https://docs.google.com/viewer?url=patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/USD87173.pdf>. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Indicador\\_de\\_actitud](https://es.wikipedia.org/wiki/Indicador_de_actitud)
- Erdos, D. (s.f.). Obtenido de <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6516147>
- Futaba. (s.f.). Obtenido de <http://www.futabarc.com/sbus/>
- Hobby King. (s.f.). [https://hobbyking.com/en\\_us/naze32r6-set-pcb-wire-pins.html](https://hobbyking.com/en_us/naze32r6-set-pcb-wire-pins.html).
- HobbyKing. (s.f.). Obtenido de [https://hobbyking.com/en\\_us/fatshark-dominator-hd3.html](https://hobbyking.com/en_us/fatshark-dominator-hd3.html)
- HobbyKing. (s.f.). Obtenido de [https://hobbyking.com/en\\_us/10-diversity-fpv-monitor-with-pip-us-plug.html](https://hobbyking.com/en_us/10-diversity-fpv-monitor-with-pip-us-plug.html)
- HobbyKing. (s.f.). Obtenido de [https://hobbyking.com/en\\_us/fatshark-trinity-3-axis-external-head-tracker.html](https://hobbyking.com/en_us/fatshark-trinity-3-axis-external-head-tracker.html)
- jdrones. (s.f.). [http://store.jdrones.com/AttiPilot\\_Current\\_Sensor\\_p/sen-09028.htm](http://store.jdrones.com/AttiPilot_Current_Sensor_p/sen-09028.htm).
- Muñoz, M. A. (s.f.). <http://www.manualvuelo.com/INS/INS24.html>.
- Muñoz, M. A. (s.f.). <http://www.manualvuelo.com/INS/INS24.html>.
- Muñoz, M. A. (s.f.). *manualvuelo*. Obtenido de <http://www.manualvuelo.com/SIF/SIF31.html>
- Nave, M. O. (s.f.). <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/airpw.html>.
- OpenCV. (s.f.). <https://opencv.org>. Obtenido de <https://opencv.org/about.html>
- OpenPilot wiki. (s.f.). [http://opwiki.readthedocs.io/en/latest/user\\_manual/cc3d/cc3d.html#diy-boards](http://opwiki.readthedocs.io/en/latest/user_manual/cc3d/cc3d.html#diy-boards).

Pilot-store. (s.f.). Obtenido de <http://www.pilot-store.cl/timones-saitek/15-yoke-pro-flight-pc.html>

pixhawk. (s.f.). <https://pixhawk.org/modules/pixhawk2>.

seabridge, a. (2010). *Unmanned aircraft systems*. chippenhan: wiley.

Spektrum. (s.f.). Obtenido de <https://www.spektrumrc.com/Products/Default.aspx?ProdId=SPM18100>

takeoffbriefing. (27 de Noviembre de 2012). *takeoffbriefing.com*. Obtenido de <http://www.takeoffbriefing.com/teoria-de-la-sustentacion-porque-vuela-un-avion/>

Thrustmaster. (s.f.). Obtenido de [http://www.thrustmaster.com/es\\_ES/productos/hotas-warthog](http://www.thrustmaster.com/es_ES/productos/hotas-warthog)

unmannedtechshop. (s.f.). <https://www.unmannedtechshop.co.uk/ardupilot-apm-2-8-flight-controller-board/>.

Volker Jung. (s.f.). Obtenido de <https://patents.google.com/patent/DE202014002338U1/en?q=drone&q=agriculture>

Wikipedia. (s.f.). Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/GLONASS>

Wikipedia. (s.f.). Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_posicionamiento\\_global](https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_posicionamiento_global)

Wikipedia. (s.f.). Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C#/media/File:I2C.svg>

Wikipedia. (s.f.). Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Bus\\_CAN](https://es.wikipedia.org/wiki/Bus_CAN)

Wikipedia. (s.f.). Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n\\_por\\_ancho\\_de\\_pulsos](https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_por_ancho_de_pulsos)

wikipedia. (s.f.). [https://es.wikipedia.org/wiki/Aeronave\\_de\\_alas\\_giratorias](https://es.wikipedia.org/wiki/Aeronave_de_alas_giratorias). Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Aeronave\\_de\\_alas\\_giratorias](https://es.wikipedia.org/wiki/Aeronave_de_alas_giratorias).

wikipedia. (s.f.). <https://es.wikipedia.org/wiki/Convertiplano>. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Convertiplano>.

wikipedia. (s.f.). [https://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_de\\_combusti%C3%B3n\\_interna](https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_combusti%C3%B3n_interna). Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_de\\_combusti%C3%B3n\\_interna](https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_combusti%C3%B3n_interna).

wikipedia. (s.f.). [https://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_de\\_reacci%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_reacci%C3%B3n). Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_de\\_reacci%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_reacci%C3%B3n).

wikipedia. (s.f.). [https://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_el%C3%A9ctrico](https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_el%C3%A9ctrico). Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_el%C3%A9ctrico](https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_el%C3%A9ctrico).

wikipedia. (s.f.). <https://es.wikipedia.org/wiki/Multirrotoir>. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Multirrotoir>.

Wikipedia. (s.f.). [https://es.wikipedia.org/wiki/Velocidades\\_caracter%C3%ADsticas](https://es.wikipedia.org/wiki/Velocidades_caracter%C3%ADsticas).

오인선. (s.f.). Obtenido de <https://patents.google.com/patent/KR101535401B1/en?q=drone&q=rescue>

## 14 ANEXOS

### 14.1.1 Análisis de RPA en el mercado con orientación similar al proyecto

Analizamos los principales modelos de en el mercado que pueden ser usados para vuelo FPV u operaciones SAR civiles nos encontramos con las siguientes características

Marca	Modelo	Peso (g)	Carga máxima(g)	Velocidad (Km/h)	T' de vuelo(mi nutos)	Voltaje batería	Capacidad mAh
DJI	Inspire 2	3.440	560	94	27	22.2	8560
DJI	MATRIC E 600	9100	6000	65	16	22.2	27000
SKYWALKER	X8	2000	2000	60	25	22.2	6500
BEAROESP ACE	GEMINI S V2	6700	2700	50	240	11.1	56000

*Tabla 1 comparativa drones*

Se observan 2 segmentos específicos de aeronaves, las de ala rotatoria (rotarywing) y las de ala fija (fixedwing), cada una con características específicas de vuelo, como, por ejemplo, las rotarywing se caracterizan por su tamaño reducido y estabilidad en vuelo estático, lo que los hace ideales para operaciones en espacios estrechos que requieran buena maniobrabilidad, por otro lado las aeronaves de ala fija o fixedwing dependiendo de su configuración alar pueden variar mucho en comportamiento y maniobrabilidad.

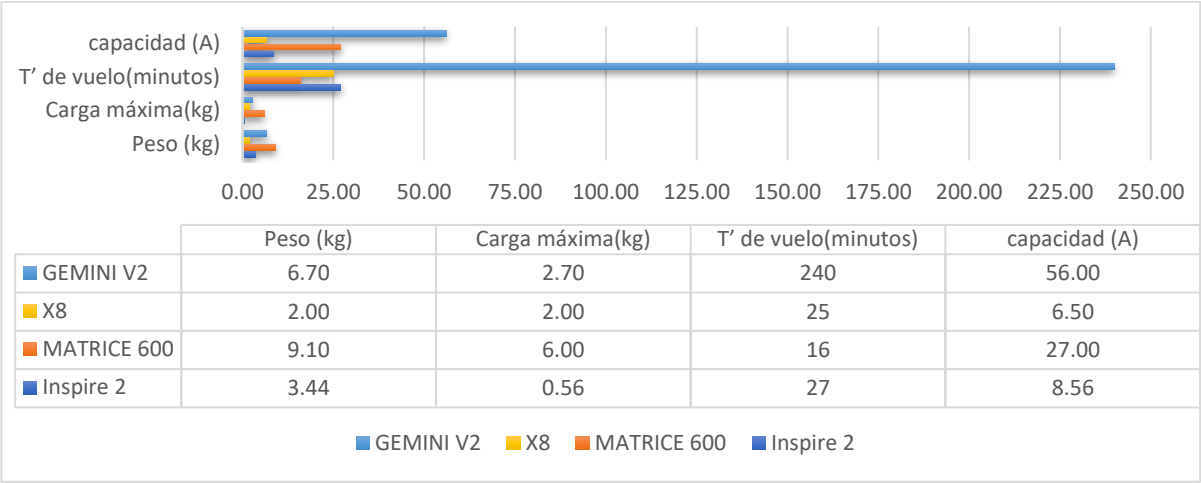


Tabla 2 grafico características

Los resultados del gráfico, resulta evidente que las aeronaves de ala fija poseen tiempos de vuelo mayores que las de ala rotativa, esto debido esencialmente a su modo de funcionamiento, las aeronaves de ala rotativa no posee una superficie de sustentación, sino más bien proveen de está generando un gran empuje con sus rotores y a diferencia de los helicópteros su empuje está determinado por la velocidad de sus motores y no por el ángulo de ataque de las hélices, es por esto que generan un gran gasto energético reduciendo así su tiempo de operación.

Por otro lado, las aeronaves de ala fija son dependientes de su configuración alar para otorgar sustentación es por esto que se les dificulta el vuelo estacionario y deben mantenerse en movimiento.

#### 14.1.1.1 ¿Como afecta la configuración alar en el vuelo?

Para entender esto compararemos distintos modelos y las características que posee un ala.

Modelo	superficie		carga		Coeficiente C
	envergadura	(dm <sup>2</sup> )	alar(g/dm <sup>2</sup> )	peso	
GEMINIS					
V2	3200	96	98	9.7	10.00
AVISTAR	2300	93.4	85	7.9	8.80
eagle 580	1350	41.6	76	3.18	11.78
p-51	1320	35.5	73	2.61	12.25

Tabla 3 configuración alar

Pero ¿que son estos parámetros?

Envergadura: la envergadura de un avión es básicamente la distancia total que existe entre los extremos de las alas.

Superficie: corresponde a la superficie total del ala, esta se calcula como  $E * \Delta cuerda$ , en donde E corresponde a la envergadura y  $\Delta cuerda$ , a la cuerda promedio del ala (cuerda es una línea imaginaria trazada entre los bordes de ataque y fuga del ala)

Carga alar: la carga alar consiste en la repartición del peso por unidad de superficie en el avión  $\Delta Peso/S$ , donde  $\Delta Peso$  es el peso máximo del avión y S la superficie alar

Coeficiente C: o coeficiente de carga es el que nos determina el comportamiento del avión, entre más pesado sea un avión para la misma superficie más alto será el coeficiente y más velocidad/potencia necesitara para el vuelo, entre más bajo, el avión planeara mejor y podrá volar a velocidades más bajas, este lo calculamos como  $C/(S^{0.5})$  donde C corresponde a la carga alar y S a la superficie.

La clasificación según su coeficiente C es la siguiente:

- C Tipo de Avión
- 2-3 Velero térmico
- 4-5 Motoplaneador
- 6-8 Entrenador
- 9-12 Acrobático
- 13-15 Carreras, Escala

Como se observa en la tabla aviones como el p-51 (avión de combate de la ww2) o el eagle 580 (avión acrobático) poseen altos coeficientes de carga, haciéndolos aviones relativamente rápidos y de poco planeo, en cambio el géminis v2 y el avistar poseen un coeficiente de carga menor lo que les otorga un mejor planeo y no tanta dependencia de la velocidad para volar.



*Ilustración 74 P51*

Por lo tanto, si queremos que nuestra aeronave se mantenga por extensos periodos en el aire debemos optar por coeficientes bajos, y además una baja carga alar, esto es posible con un modelo de construcción liviana y una gran envergadura.

#### 14.1.2 Codigos OpenCV

```
from __future__ import print_function
from imutils.object_detection import non_max_suppression
from imutils import paths
import numpy as np
import argparse
import imutils
import cv2

ap = argparse.ArgumentParser()
ap.add_argument("-i", "--images", required=True, help="path to images
directory")
args = vars(ap.parse_args())
hog = cv2.HOGDescriptor()
hog.setSVMDetector(cv2.HOGDescriptor_getDefaultPeopleDetector())
imagePaths = list(paths.list_images(args["images"]))

for imagePath in imagePaths:
    # load the image and resize it to (1) reduce detection time
    # and (2) improve detection accuracy
    image = cv2.imread(imagePath)
    image = imutils.resize(image, width=min(400, image.shape[1]))
    orig = image.copy()
    (rects, weights) = hog.detectMultiScale(image, winStride=(4, 4),
        padding=(8, 8), scale=1.05)
    for (x, y, w, h) in rects:
        cv2.rectangle(orig, (x, y), (x + w, y + h), (0, 0, 255), 2)
    rects = np.array([[x, y, x + w, y + h] for (x, y, w, h) in rects])
```

```

pick = non_max_suppression(rects, probs=None, overlapThresh=0.65)
for (xA, yA, xB, yB) in pick:
    cv2.rectangle(image, (xA, yA), (xB, yB), (0, 255, 0), 2)
filename = imagePath[imagePath.rfind("/") + 1:]
print("[INFO] {}: {} original boxes, {} after suppression".format(
    filename, len(rects), len(pick)))

cv2.imshow("Before NMS", orig)
cv2.imshow("After NMS", image)
cv2.waitKey(0)

```

#### *14.1.2.1 Código alternativo basado en la detección de rostros*

```

import numpy as np
import cv2
import pickle

face_cascade =
cv2.CascadeClassifier('cascades/data/haarcascade_frontalface_alt2.xml')

eye_cascade = cv2.CascadeClassifier('cascades/data/haarcascade_eye.xml')

smile_cascade =
cv2.CascadeClassifier('cascades/data/haarcascade_smile.xml')

recognizer = cv2.face.LBPHFaceRecognizer_create()
recognizer.read("./recognizers/face-trainner.yml")
labels = {"person_name": 1}

with open("pickles/face-labels.pickle", 'rb') as f:
    og_labels = pickle.load(f)
    labels = {v:k for k,v in og_labels.items()}

cap = cv2.VideoCapture(0)
while(True):
    ret, frame = cap.read()

```



```

gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

faces = face_cascade.detectMultiScale(gray, scaleFactor=1.5,
minNeighbors=5)

for (x, y, w, h) in faces:
    #print(x,y,w,h)
    roi_gray = gray[y:y+h, x:x+w] #(ycord_start, ycord_end)
    roi_color = frame[y:y+h, x:x+w]
    id_, conf = recognizer.predict(roi_gray)
    if conf>=4 and conf <= 85:
        #print(5: #id_)
        #print(labels[id_])
        font = cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX
        name = labels[id_]
        color = (255, 255, 255)
        stroke = 2
        cv2.putText(frame, name, (x,y), font, 1, color, stroke,
cv2.LINE_AA)

img_item = "7.png"
cv2.imwrite(img_item, roi_color)

color = (255, 0, 0) #BGR 0-255
stroke = 2
end_cord_x = x + w
end_cord_y = y + h
cv2.rectangle(frame, (x, y), (end_cord_x, end_cord_y), color, stroke)
#subitems = smile_cascade.detectMultiScale(roi_gray)
#for (ex,ey,ew,eh) in subitems:

```

```
        # cv2.rectangle(roi_color,(ex,ey),(ex+ew,ey+eh),(0,255,0),2)
cv2.imshow('frame',frame)
if cv2.waitKey(20) & 0xFF == ord('q'):
    break
cap.release()
cv2.destroyAllWindows()
```